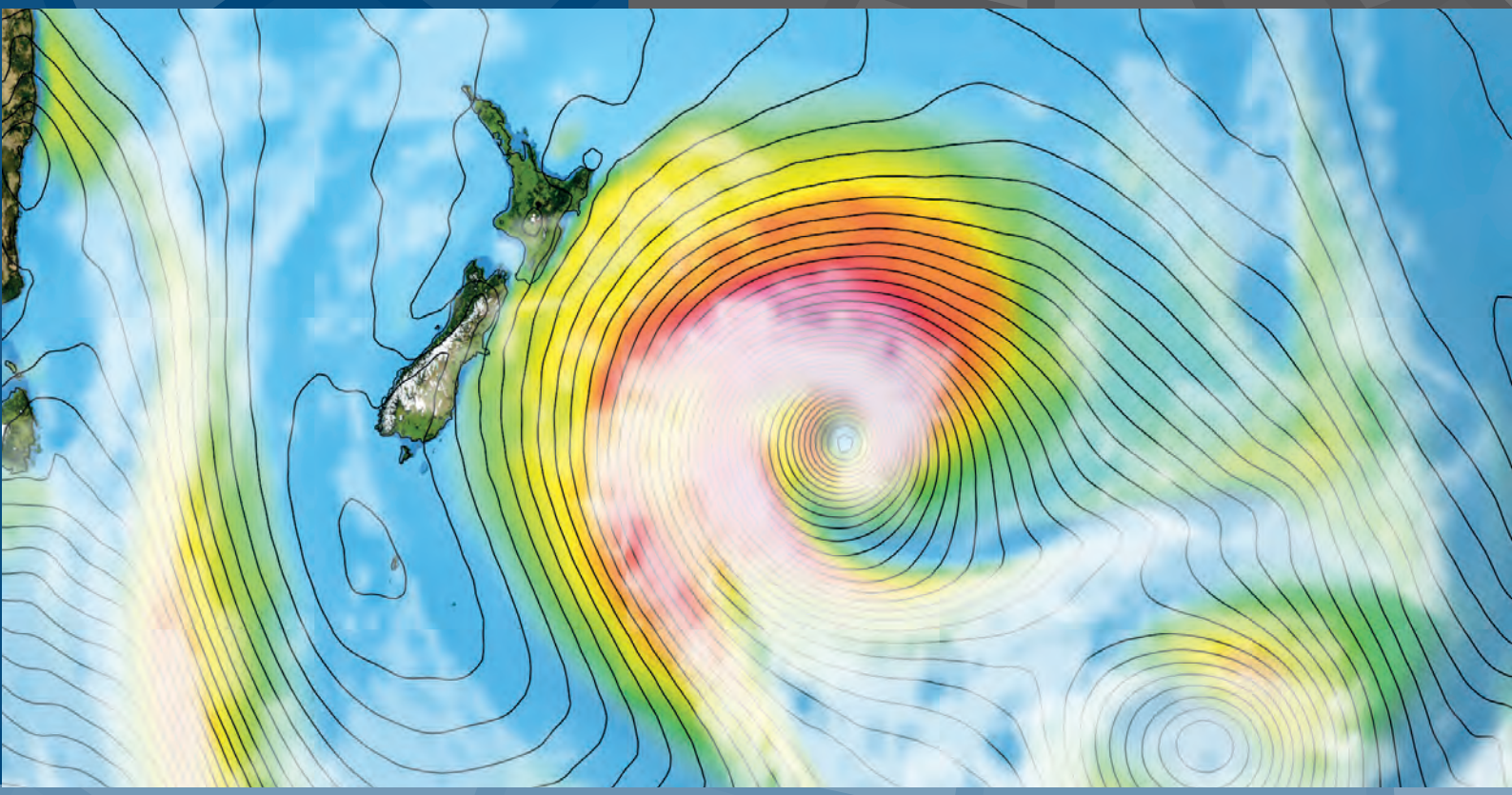
REKLIM Report

Helmholtz-Verbund
Regionale Klimaänderungen

Oktober 2016



Regionale Klimaänderungen – Ursachen und Folgen

Im Fokus

- Atmosphärische Zusammensetzung und Klima
- Modellierung und Verständnis extremer meteorologischer Ereignisse
- Risikoabschätzungen und Risikomanagement für Klimaanpassungsstrategien

Weitere Themen im Report:

Aktuelle Aktivitäten im Helmholtz-Forschungsverbund REKLIM

NachwuchswissenschaftlerInnen im Verbund

REKLIM goes public – Beispiele für Wissenstransfer und Dialogprozesse

Die regionalen Klimabüros in der Helmholtz-Gemeinschaft

HELMHOLTZ GEMEINSCHAFT

Herausforderung Klimawandel

Klimaforschung im Verbund

Das Thema Klimawandel hat auch im Jahr 2016 nicht an Aktualität verloren, auch wenn es hinter den drängenden Fragen der Alltagspolitik manchmal in die zweite Reihe rückt. Mit dem Pariser Klimaabkommen im Dezember 2015 ist ein Meilenstein in der internationalen Klimapolitik gelungen, der eine Reduktion von CO_2-Emissionen fordert, um die Klimaerwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf deutlich unter 2° C, wenn möglich sogar auf 1,5° C zu beschränken. Bis 2050 soll in zügigen Schritten aller Staaten ein Gleichgewicht mit der Natur erreicht werden. Es sollen nur noch so viele Treibhausgas-Emissionen erlaubt sein, wie die Natur durch Wälder, Böden und Ozeane wieder aufnehmen kann. Wie diese Ziele erreicht werden, sollen die Staaten selbst bestimmen. Jedoch sollen bereits ab dem Jahr 2023 die Länder verpflichtet werden, ihre freiwilligen Zusagen zur CO_2-Reduktion alle fünf Jahre zu erhöhen. Die bisherigen Zusagen zur Reduktion der CO_2-Emissionen reichen bei Weitem nicht aus. Sie würden eine Temperaturerhöhung von 3 – 3,5 °C zufolge haben.

Schauen wir uns dieses mehr als ehrgeizige Ziel an, so stellen wir jedoch fest, dass die Umsetzung schwierig ist. So bedeutet es, die Verbrennung fossiler Energieträger bis Mitte des Jahrhunderts soweit zu reduzieren, dass die verbleibenden Emissionen durch das Ökosystem wieder aufgenommen werden können. Die derzeitige Realität sieht hingegen anders aus und die klimatische Notwendigkeit dafür ist deutlicher denn je: auch 2016 wird voraussichtlich wieder einen Rekord in der mittleren Jahrestemperatur erzielen, die letzten 10 Monate sind jeweils die wärmsten jemals gemessenen Monate seit Beginn der Temperaturaufzeichnung. Auch in der Arktis geht die sommerliche Meereisausdehnung einem Minimum entgegen, das voraussichtlich die zweitniedrigste jemals gemessene Ausdehnung zeigen wird. In Deutschland hat sich dieses Jahr bisher nicht als besonders extrem herausgestellt, dennoch sind wieder Hitzerekorde, Unwetter und Extremniederschlagsereignisse, wie beispielsweise im baden-württembergischen Braunsbach im Mai 2016 mit 105 mm an einem Tag, aufgetreten. Die Zeichen für ein entschlossenes Handeln sind also deutlich sichtbar.

Um die wissenschaftlichen Erkenntnisse weiter in die Gesellschaft zu tragen, veranstaltet der Helmholtz-Forschungsverbund „Regionale Klimaänderungen (REKLIM)“ am 5. Oktober 2016 seine 6. Regionalkonferenz in diesem Jahr in Karlsruhe zum Thema „Von den Grundlagen bis zur Anpassung“. Im Mittelpunkt der Veranstaltung stehen die Themen „Herausforderungen der Klimamodellierung“ und „Extremereignisse“. Beide Themenbereiche spiegeln Forschungsfelder wider, die wissenschaftlich im Verbund erarbeitet werden und hier gemeinsam mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft vorgestellt und diskutiert werden sollen.

Der vorliegende REKLIM-Report gibt darüber hinaus einen aktuellen Einblick in die Forschungsaktivitäten aller acht Forschungsthemen. Der Bereich „IM FOKUS“ stellt in dieser Ausgabe Aktivitäten aus den Themenfeldern „Atmosphärische Zusammensetzung und Klima“, „Modellierung und Verständnis extremer meteorologischer Ereignisse“ sowie „Risikoanalyse und Risikomanagement für integrierte Klimastrategien“ etwas ausführlicher vor. Es werden zudem Beispiele aufgezeigt, in denen REKLIM über die Helmholtz-Klimabüros an der Schnittstelle zur Gesellschaft arbeitet und wo REKLIM auf verschiedenen Ebenen in der Öffentlichkeit aktiv ist. Denn nur durch den Dialog mit der Gesellschaft können die Information und das Wissen über die Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels in die Umsetzung und entsprechende Maßnahmen münden und wir gemeinsam zum Ziel der Beschränkung der Klimaerwärmung auf 2° C oder weniger beitragen.

Peter Lemke

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, 2016

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: Dr. Burkhardt Rockel (HZG), Dr. Annette Rinke (AWI)
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. Hendrik Elbern (FZJ, UK)
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)

Sprecherinnen der Regionalen Helmholtz Klimabüros:
Dr. Insa Meinke (HZG)
Dr. Renate Treffeisen (AWI)

Gestaltung:
Koordinierungsstelle REKLIM
KLEMM BREMEN.DE

Druck:
BerlinDruck, Achim

MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
FSC® C011814

Inhalt

IM FOKUS

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	16
7	Risikoanalyse und Risikomanagement für integrierte Klimastrategien	20
8	Schnelle Klimaänderungen aus Proxy-Daten	24
	NachwuchswissenschaftlerInnen im REKLIM Verbund	26
	REKLIM goes public	28
	Die regionalen Klimabüros in der Helmholtz-Gemeinschaft	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

Eine der aktuellen Herausforderungen in der regionalen Klimamodellierung ist die interaktive Kopplung von verschiedenen Komponenten des Klimasystems (z.B. Atmosphäre, Ozean, Meereis, Land, Aerosol/Chemie) auf regionaler Skala. Durch die hohe Auflösung, die verbesserte Beschreibung von wichtigen Klimaprozessen der jeweiligen Region und die Berücksichtigung von Rückkopplungsprozessen können so verbesserte Klimasimulationen erwartet werden.

Gekoppelte regionale Atmosphäre-Land-Modellierung über der Arktis

Etwa ein Viertel der Böden in der nördlichen Hemisphäre sind durch Permafrost gekennzeichnet. Permafrost ist Dauerfrostboden, der in mindestens zwei aufeinanderfolgenden Jahren durchgehend gefroren ist und teilweise bis in 1500 m Tiefe reicht. Permafrostböden spielen sowohl für den Kohlenstoffaustausch mit der Atmosphäre, aber auch für die infrastrukturelle Entwicklung der arktischen Regionen eine wichtige Rolle. Besonders wichtig ist dabei die maximale Auftautiefe des Bodens im Sommer.

Für eine verbesserte Darstellung von Permafrost in der Arktis in einem regionalen Klimamodell wurde das Atmosphärenmodell HIRHAM5 mit dem Landmodell CLM4 gekoppelt, welches eine sehr gute detaillierte Beschreibung von Wärme- und Feuchteflüssen im Boden enthält. Das neue gekoppelte Modellsystem HIRHAM-CLM zeigte in einem Testlauf für den Zeitraum 1979-1984 bereits eine deutliche Verbesserung der simulierten Bodentemperaturen. Daraufhin wurde die 36-Jahre-Periode 1979-2014 simuliert und die Ergebnisse mit Beobachtungsdaten verglichen. Durch die verbesserte Beschreibung von Landoberflächen- und Bodenprozessen konnte der bisherige Modellfehler, der sich insbesondere in zu kalten Bodentemperaturen im Winter zeigte, erheblich reduziert werden. Auch die sommerliche Auftautiefe des Permafrostbodens in der Arktis kann von HIRHAM-CLM viel realistischer wiedergegeben werden (Abb. 1.1) als von HIRHAM5, welches bisher mit dem vereinfachten ECHAM-Landmodell gekoppelt war.

Gekoppelte regionale Atmosphäre-Ozean-Modellierung über Europa

Niederschlag wird in den meisten Klimamodellen unterschätzt. Aber gerade der Niederschlag ist eine wichtige Größe, wenn es um Extremereignisse oder die landwirtschaftliche Nutzungen geht. So wurde für das Sommermittel über den Zeitraum von 34 Jahren von 1986 bis 2009 der Einfluss der Atmosphäre-Ozean Kopplung auf die Unterschätzung des simulierten Niederschlags über Mitteleuropa hin analysiert und hier insbesondere ein Fokus auf extreme Tagesniederschläge gelegt (Abb. 1.2).

Die Vergleiche der gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modelle (COSTRICE: Atmosphäre CCLM, Ozean TRIMNP, Meereis CICE und RCA4-NEMO: Atmosphäre RCA4, Ozean NEMO) mit den nicht gekoppelten Atmosphärenmodellen (CCLM und RCA4) zeigen, dass die Kopplung die Unterschätzung des Nieder-

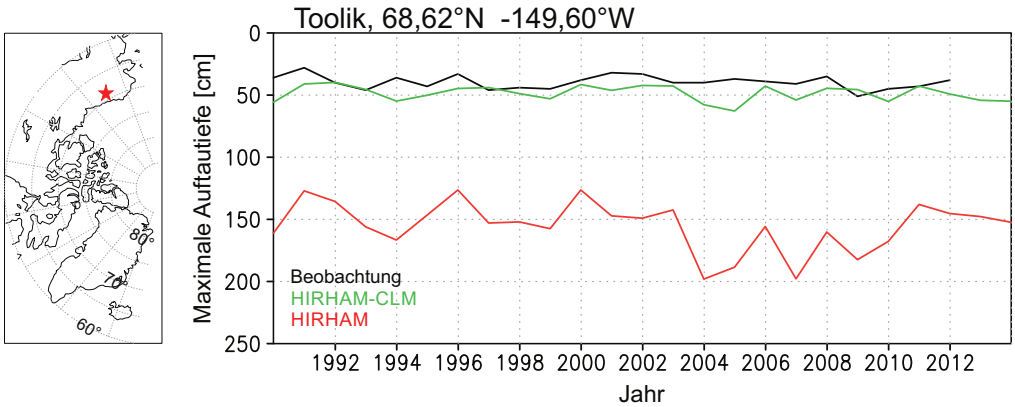


Abb. 1.1: Maximale sommerliche Auftautiefe des Bodens für die Station Toolik in Alaska (roter Stern im linken Bild) von 1990 bis 2014 aus Beobachtungen (schwarze Linie), berechnet von HIRHAM5 (rote Linie) und berechnet von HIRHAM-CLM (grüne Linie). (Grafik: Heidrun Matthes, AWI)

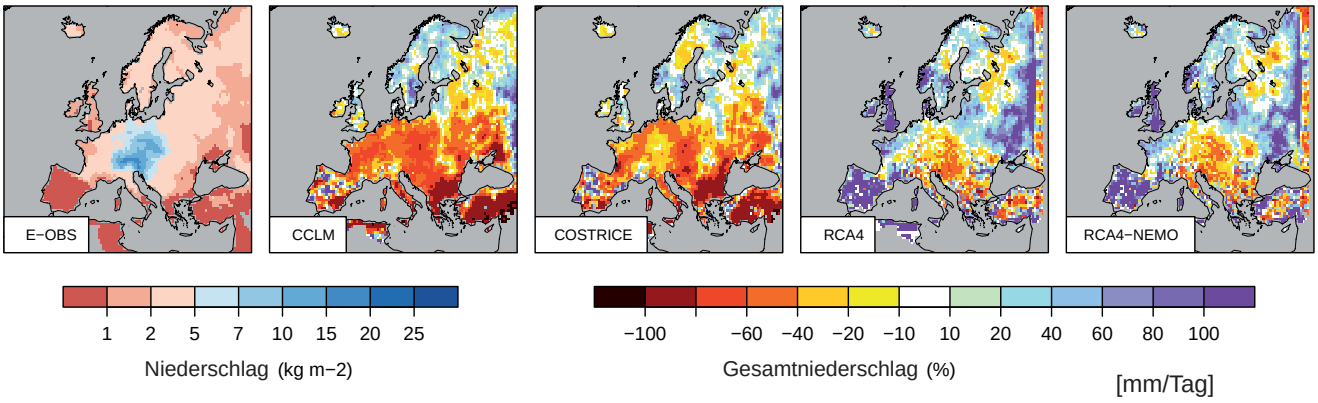


Abb. 1.2: Die erste Grafik links zeigt den beobachteten mittleren monatlichen Niederschlag (in mm/Tag) basierend auf interpolierten Niederschlagsstationsdaten (E-OBS-Datensatz). Die nächsten vier Grafiken zeigen den relativen Fehler im Niederschlag (in Prozent) zwischen den Modellrechnungen und dem E-OBS-Datensatz gemittelt über Tage mit starkem Niederschlag im Sommer für nördliche Wetterlagen im Zeitraum 1986-2009. Gebiete mit fehlenden Werten sind grau gezeichnet. (Grafik: Ha Ho-Hagemann, HZG)

schlags über Mitteleuropa für das CCLM deutlich reduziert, nicht aber für das RCA. Das unterschiedliche Verhalten dieser beiden Modelle kann auf unterschiedliche Empfindlichkeiten der atmosphärischen Modellkomponenten auf Änderungen der Meeresoberflächentemperaturen zurückgeführt werden. Die COSTRICE Simulationen sind genauer als die CCLM Simulationen, wenn extreme Niederschläge in Betracht gezogen werden, insbesondere bei Wetterlagen, bei denen der Luftstrom aus dem Nordatlantik über die Nordsee streicht. Die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Ozean (z.B. Verdunstung und Meeresoberflächentemperatur) und zwischen Land und Ozean werden mit dem gekoppelten Modell besser reproduziert und führen zu einem verbesserten Feuchtetransport vom Meer auf das Land und damit zu einer Zunahme von Starkniederschlägen über Mitteleuropa, die mit den Beobachtungen übereinstimmt.

Skalenabhängige Parametrisierung für die Bildung von Wolkeneis

Auf Grundlage des neuen globalen Atmosphärenmodells ICON (ICOsahedral Nonhydrostatic) wurde mit ICON–ART 1.0 (Rieger et al., 2015) ein Modellsystem für die raum-zeitliche Entwicklung von Aerosolen und Spurengasen erstellt (ART steht für Aerosole und reaktive Spuren(Trace-)gase). ICON ermöglicht eine lokale Gitterverfeinerung mit Zweiwegekopplung zwischen den Gittern. ICON-ART wurde vom KIT in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst mit dem Ziel entwickelt, die Wechselwirkungen zwischen gasförmigen und partikelförmigen Spurenstoffen mit atmosphärischen Zustandsgrößen zu beschreiben. Die aktuelle Version von ICON-ART beinhaltet neben der Berechnung der Emission und Ausbreitung von natürlichen Spurenstoffen (Mineralstaub, Vulkanasche, Seesalz, biogene Gase) auch deren Einfluss auf die Strahlung und die Bildung von Wolken.

Die Möglichkeit, die horizontale Gitterweite von ICON-ART Simulationen lokal zu verfeinern, bietet neue Möglichkeiten, Auflösungsabhängigkeiten von Vorhersagegrößen in einem in sich konsistenten Modellsystem zu untersuchen. In Abbildung 1.3 ist die Auswirkung der horizontalen Auflösung auf die Eispartikelanzahlen in Wolken (sog. Wolkeneis) während eines Saharastaub-Ereignisses über Mitteleuropa dargestellt. In hohen Luftschichten wirken Partikel als sogenannte Eiskeime, die ein Gefrieren von Wasser bei vergleichsweise hohen Temperaturen begünstigen. Im Modell zeigen sich systematische Unterschiede zwischen den verschiedenen horizontalen Auflösungen. So ist die Eispartikelanzahl im Modell mit der feinsten Auflösung am höchsten, da kleinskalige Fluktuationen der Vertikalgeschwindigkeit im feinen Modellgebiet aufgelöst werden. Die Bildung von Eispartikeln steigt überproportional mit der Vertikalgeschwindigkeit, was dann zur höheren Eispartikelanzahlen führt. Die Eispartikelanzahl stellt eine entscheidende Größe für die optische Dichte von reinen Eiswolken (Cirren) dar und beeinflusst, ob eine Wolke einen abkühlenden oder wärmenden Einfluss auf das Klimasystem hat.

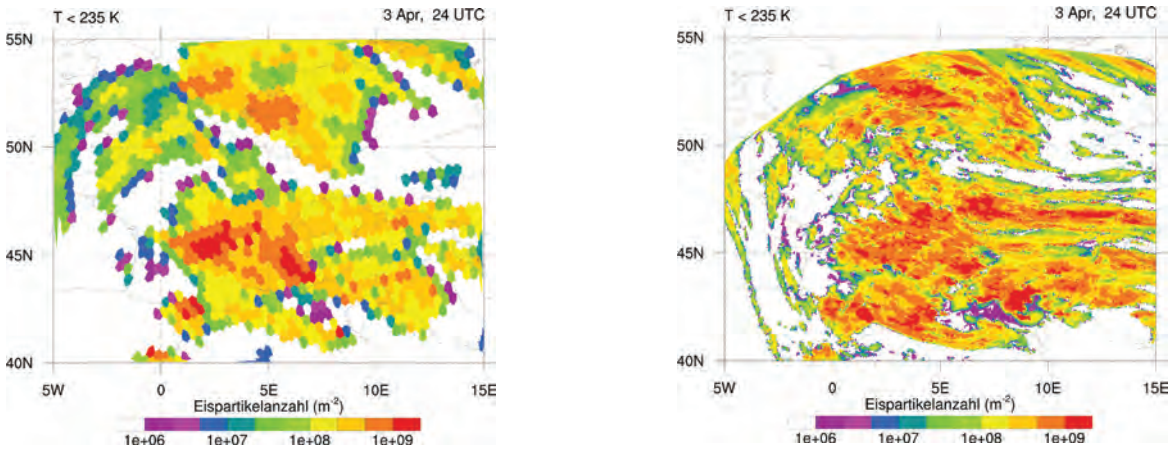


Abb. 1.3: Simulierte Eispartikelanzahl bei einer horizontalen Gitterweite von 40 km (links) und 5 km (rechts). (Grafik: Daniel Rieger, KIT)

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?

Der Begriff „Meeresspiegel" bezeichnet das mittlere Höhenniveau der Meeresoberfläche. Der gemessene Meeresspiegel ist jedoch zeitlich und räumlich sehr variabel. Die Schwankungen an einem bestimmten Ort (also der lokale Wasserstand) werden von dem Zusammenspiel von Gezeiten, vorherrschenden atmosphärischen Bedingungen, sowie auf größeren räumlichen Skalen, von dem Salz-, Wärme- und Massenhaushalt in den Ozeanbecken verursacht. Zum Trend im Massenhaushalt tragen vor allem die Abflüsse des Schmelzwassers von den Inlandgletschern sowie den großen Eisschilden bei.

Meeresspiegeländerungen in der Deutschen Bucht

Entscheidende Größe für die Auslenkung des lokalen Meeresspiegels ist der Wind, besonders in flachen Küstengewässern und exponierten Lagen mit hohen Windgeschwindigkeiten. Der Pegel Cuxhaven zeichnet durch seine Lage in der Deutschen Bucht solche zwischenjährlichen Schwankungen auf (Abb. 2.1). Aber lässt sich in der Pegelzeitreihe die Signatur des globalen Meeresspiegelanstiegs identifizieren und kann man bereits mit ausreihender Sicherheit feststellen, dass der Anstieg beschleunigt stattfindet?

Für die Nordsee deuten Messungen der letzten ca. 150 Jahre auf einen kontinuierlichen Anstieg des Meeresspiegels hin, der etwa 1.2 bis 1.5 mm/Jahr beträgt. Von Jahrzehnt zu Jahrzehnt weist dieser Trend aber deutliche Schwankungen auf. So haben sturmaktive Jahre zwischen 1965 und 1990 in Westeuropa eine Erhöhung des langjährigen Trends verursacht. Diese Beschleunigung kehrt sich unter ruhigeren Wetterbedingungen später jedoch wieder um. Robuste Trend-Schätzungen müssen den gemessenen Wasserstand von solchen Einflüssen bereinigen, um den langfristigen, klimatisch bedingten Meeresspiegelanstieg zu isolieren. Dies kann beispielsweise mit statistischen Verfahren erfolgen, in denen beobachtete Wasserstände und Wettergeschehen verknüpft werden und der ermittelte Zusammenhang auf vergangene Jahrzehnte angewendet wird.

Für die Jahre 1948-2014 wurden die Wasserstände an 27 Pegeln der Nordsee untersucht, die zur besseren Übersicht zu vier Regionen zusammengefasst wurden (siehe Abb. 2.1). Abbildung 2.2 zeigt die jährlichen Mittelwerte der Wasserstände. Es fällt auf, dass die Beobachtungen, die um den Effekt des vorherrschenden Wetters bereinigt wurden, deutlich kohärenter variieren als die ursprünglichen Daten. Der langjährige Trend zeigt sich deutlicher, dekadische Schwankungen sind reduziert. Die restliche Variation hat ihren einheitlichen Ursprung in der im Atlantik vorherrschenden Druckverteilung. Der mittlere Trend für die korrigierten Beobachtungen der 27 Nordseepegel liegt bei ca. 1.5 mm/Jahr (1948-2014), wobei ca. 0.2 mm/Jahr des ursprünglichen Trends dem regionalen Wettereinfluss zuzuordnen sind.

Durch die Trennung des lokalen und des atlantischen Beitrags kann die Genauigkeit des langfristigen Trends deutlich verbessert werden. Basierend auf den reduzierten Beobachtungsdaten muss die Hypothese einer schon eingesetzten Beschleunigung des Meeresspiegels in der Deutschen Bucht statistisch zurückgewiesen werden. Aussagen für die Zukunft zu treffen, ist nach wie vor sehr schwer. Mit einem wachsenden Verständnis für die Ursachen der jährlichen Schwankungen können allerdings Abweichungen von dem heutigen Zustand schneller erkannt und als solche benannt werden.

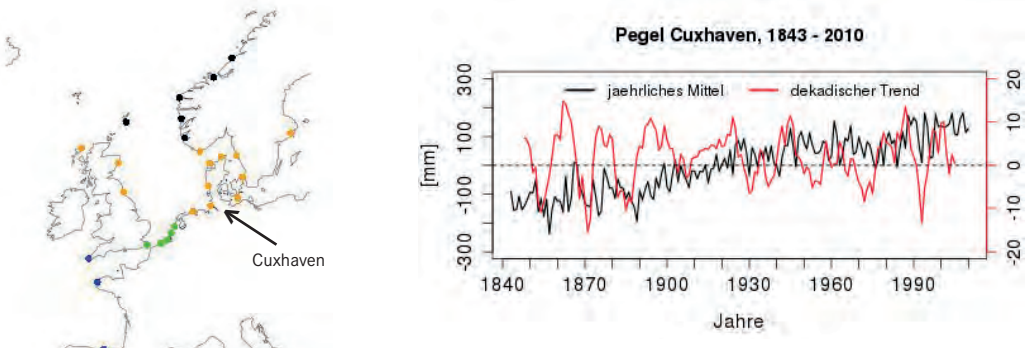


Abb. 2.1: Lage von 27 Pegelstationen in der Nordseeregion. Die zeitlich längsten Pegelaufzeichnungen in Cuxhaven von 1843 bis 2010 zeigt eine starke zwischenjährliche Schwankung. Der dekadische Trend zeigt zwar immer wieder Phasen ansteigenden relativen Meeresspiegels, die von Zeiten des Absinkens abgelöst werden, jedoch keine Beschleunigung in den letzten Dekaden. (Grafik: Katja Woth, HZG)

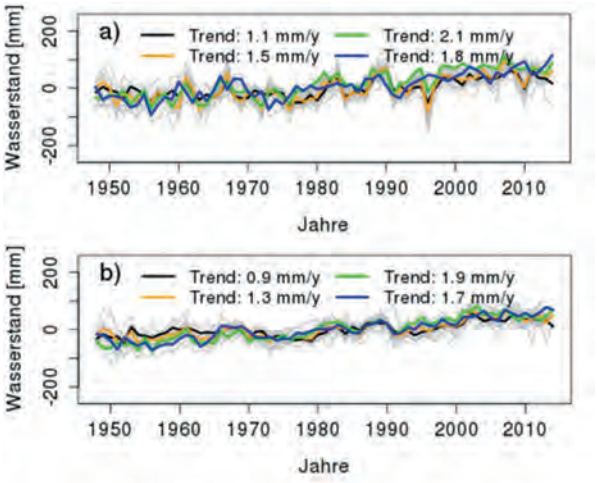


Abb. 2.2: Zeitreihen mit jährlichen Wasserständen für den Bereich der Nordsee, deren Pegel zu vier Gruppen zusammengefasst wurden (siehe Abb. 2.1). a) Beobachtete Wasserstände, die lediglich von den relativen Landhebungs- und -senkungstendenzen bereinigt wurden. b) Dieselben Beobachtungen, jedoch nach einer Bereinigung von den jährlichen Schwankungen, die dem Wettergeschehen auf regionaler Ebene zuzuordnen sind. (Grafik: Katja Woth, HZG)

Eischildmodellierung zur Bestimmung des Meeresspiegelanstiegs

Die Massenbilanz von Eisschilden und Gletschern setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, wie z.B. das Schmelzen, die Schneeakkumulation und das Eisbergkalben. Der eisdynamische Transport und das Kalben in den Ozean sind allerdings schwer quantifizierbare Größen und ihre Änderungen aufgrund von Klimaschwankungen sind am besten durch numerische Eisschildmodelle zu erfassen. Prognostische, in die Zukunft gerichtete Simulationen der Eischildentwicklung erfordern jedoch als Ausgangskonfiguration ein möglichst genaues Abbild des heutigen Zustands. Für die Initialisierung haben sich daher zwei unterschiedliche Ansätze etabliert: Modellierung langer Einschwingvorgänge (sog. Spin-ups) über mehrere Eiszeitzyklen, oder Anpassung des Modells an heutiger Beobachtungen durch Datenassimilation (z.B. gemessene Eisgeometrie und Eisgeschwindigkeiten).

Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile. Nach einem glazial/interglazialen Spin-up enthält die Eischildkonfiguration zwar die Klimageschichte, z.B. als Eistemperatur, jedoch ist es eine Herausforderung, die heutige Geometrie genau abzubilden. Im Gegensatz dazu reproduzieren die Modelle mit Datenassimilation den heutigen Zustand sehr gut, jedoch haben sie keine Klimageschichte gespeichert und können damit ein falsches transientes Verhalten liefern. Bisherige prognostische Experimente des grönländischen Eisschildes haben gezeigt, dass der initiale Zustand des Eisschildes eine große Auswirkung auf den projizierten Meeresspiegelbeitrag hat. Initialisierungstechniken zu verbessern, ist daher derzeit ein Gebiet der aktiven Forschung.

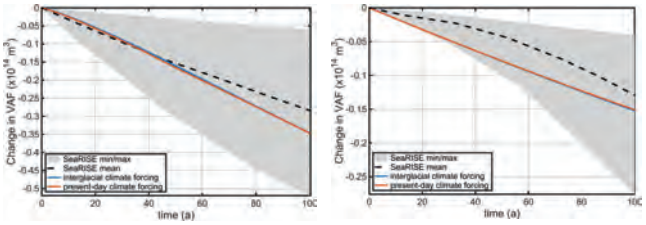


Abb. 2.3: Entwicklung des grönländischen Eisvolumens basierend auf den schematischen SeaRISE Experimente (Bindschadler et al., 2013). a) Verstärkung des basalen Gleitens als Abbild der globalen Klimaerwärmung; b) zunehmende atmosphärische Erwärmung und abnehmende Oberflächenmassenbilanz als Antrieb. Beide Initialisierungsverfahren zeigen auf der Zeitskala von 100 Jahren Simulation kaum sichtbare Unterschiede im Modellergebnis. (Grafik: Martin Rückamp, AWI)

Im Rahmen des REKLIM-Verbundes verwendet die Arbeitsgruppe Glaziologie am AWI zur eisdynamischen Modellierung des grönländischen Eisschildes das „Ice Sheet System Model (ISSM; Larour et al., 2012)“. Zur Initialisierung werden dabei zwei verschiedene Ansätze verfolgt: ein neu entwickeltes hybrides Verfahren, bei dem das Modell in einem iterativen Prozess sowohl einen glazial/interglazialen Spin-up durchläuft und gleichzeitig Datenassimilation nutzt (interglacial climate forcing). Und das Standardverfahren der Datenassimilation heutiger Beobachtungen (present-day climate forcing).

Der modellierte zukünftige Eismassenverlust liegt generell innerhalb der Bandbreite heute in der Eismodellierung eigesetzter Eismodelle (SeaRISE-Initiative; Bindschadler et al. 2013; Abb. 2.3). Überraschenderweise ist die prognostische Eisschildevolution aber weitestgehend unabhängig von der Initialisierungsmethode, obwohl die Eisschildkonfigurationen einen ausgeprägten Unterschied in den Eistemperaturen aufweisen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der Massentransort des Eisschilds hauptsächlich über schnell fließende Auslassgletscher in den dynamisch aktiven Gebieten erfolgt (Abb. 2.4). Und hier ist das basale Gleiten des Eises über den Felsuntergrund entscheidend, während Temperaturen im Eisinneren kaum eine Rolle spielen. Ob die Initialisierungsmethode einen größeren Einfluss auf längerfristige Projektionen hat, wird gegenwärtig in REKLIM untersucht.

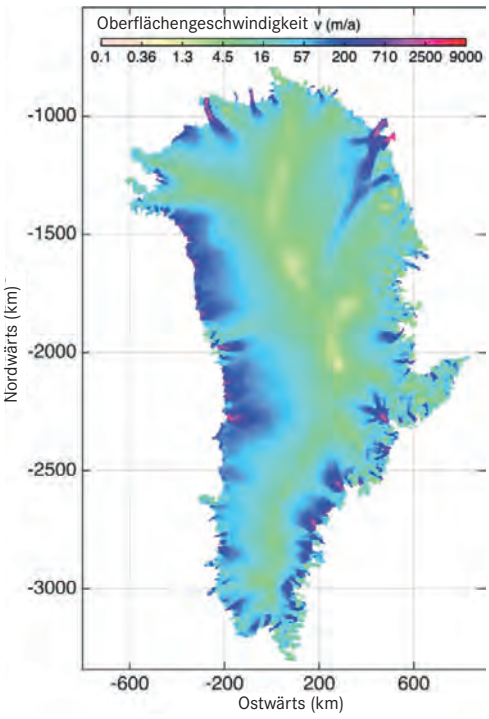


Abb. 2.4: Simuliertes Oberflächengeschwindigkeitsfeld des grönländischen Inlandeises. Deutlich zu erkennen sind die Auslassgletscher mit hohen Fließgeschwindigkeiten in der Peripherie des Eisschildes, über die der Haupteisexport des Eisschildes geschieht. (Grafik: Martin Rückamp, AWI)

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?

Die Kryosphäre ist der Teil des Klimasystems, in dem Wasser in gefrorenem Zustand vorkommt. Sie ist ein integraler Bestandteil des globalen Klimasystems mit wesentlichen Rückkopplungen. Hier spielt insbesondere Permafrost für den biogeochemischen Kreislauf im Erdsystem eine wichtige Rolle. Permafrost fungiert als Reservoir und undurchlässige Schicht für methanhaltige Gaseinschlüsse und Gashydrate im Untergrund und konserviert alten Boden-Kohlenstoff im gefrorenen Zustand. Massive Erosionsvorgänge der Landoberfläche und räumlicher Rückzug des oberflächennahen Permafrosts durch die starke Klimaerwärmung in den hohen Breiten sind daher Prozesse, die dort zu wesentlich erhöhten Methanflüssen führen können. Messungen zum Kohlenstoffkreislauf im Permafrost sind derzeit jedoch nur punktuell vorhanden und in ihrer Anzahl begrenzt (Sachs et al., 2012). Die wissenschaftlichen Entwicklungen haben den Erkenntnisstand in den letzten Jahren aber kontinuierlich verbessert: Strauss et al. (2015) untersuchten die Zersetzbarkeit der alten, im Permafrost konservierten Kohlenstoffvorkommen und lieferten damit die wichtigen Daten für eine Modellierung des Kohlenstoffkreislaufs der nördlichen Permafrost-Landschaften bei weiterer Erwärmung (Schneider von Deimling et al., 2015). Obu et al. (2015) berechneten die Kohlenstoffspeicher der kanadischen Langzeitbeobachtungsregion Herschel im Yukon. Ebenso stellen neue Publikationsstrategien für Forschungsdaten sicher, dass wissenschaftliche Daten in Repositorien zugänglich gemacht (Elger et al., 2016), visualisiert und organisiert werden (Biskaborn et al.,2015; Haas et al., 2016).

Permafrost und geologische Treibhausgasquellen

Um Kohlenstoffflüsse in der Arktis regional zu quantifizieren, wurden bei den gemeinsamen AIRMETH-Kampagnen von GFZ und AWI im Juli 2012 und 2013 die Methanemissionen von etwa 22.500 km² im kanadischen Mackenzie Delta und den angrenzenden Küstenebenen in hoher räumlicher Auflösung von 0,01 km² bestimmt. Das Mackenzie Delta ist das zweitgrößte arktische Delta und zeichnet sich durch eine scharfe Grenze zwischen diskontinuierlichem Permafrost im eigentlichen Delta und mächtigem kontinuierlichem Permafrost in angrenzenden Gebieten aus. Der nördliche Teil des Untersuchungsgebiets ist zudem bekannt für seine Öl- und Gasvorkommen.

Der Median (oder Zentralwert) der Methanflüsse lag mit 1,1 mg m^{-2} h^{-1} in einem üblichen Bereich für ähnliche Ökosysteme. Herausstechend war der Norden des Deltas: dort wurden Emissionsspitzen gemessen, die sowohl räumlich stationär als auch zeitlich wiederkehrend waren und Werte von 15 mg m^{-2} h^{-1} erreichten (Abb. 3.1). Diese wurden als geologische Methanquellen interpretiert, da rezente Methanogenese (Bildung von Methan) in der saisonalen Auftauschicht typischerweise keine derart hohen und von Umwelteinflüssen unabhängigen Emissionen zur Folge hat. In der Literatur finden sich für vergleichbare Gebiete Methanflüsse bis 5 mg m^{-2} h^{-1}, die auf rezente Methanogenese zurückzuführen sind. Folglich wurde dieser Wert hier als Obergrenze für diese Quelle angenommen, während höhere Flüsse geologischen Methanquellen zugeordnet wurden.

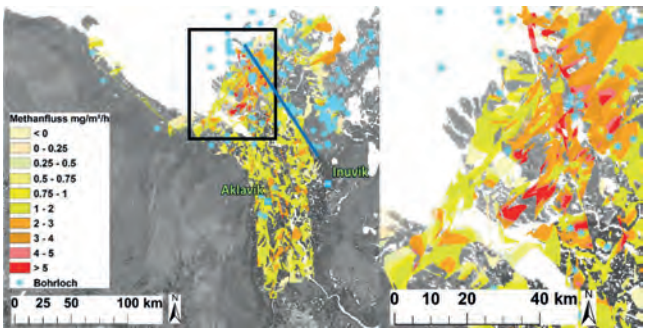


Abb. 3.1: Methanflusskarte mit bekannten Bohrlöchern mit Gas- und Ölvorkommen im Mackenzie Delta, Kanadische Arktis. Die blaue Linie zeigt die Lage der Permafrost-Mächtigkeitsgrenze: östlich von ihr ist der Permafrost 600 m mächtig und kontinuierlich. Das Rechteck markiert den Kartenausschnitt, der rechts vergrößert dargestellt ist. (Grafik: Katrin Kohnert, GFZ)

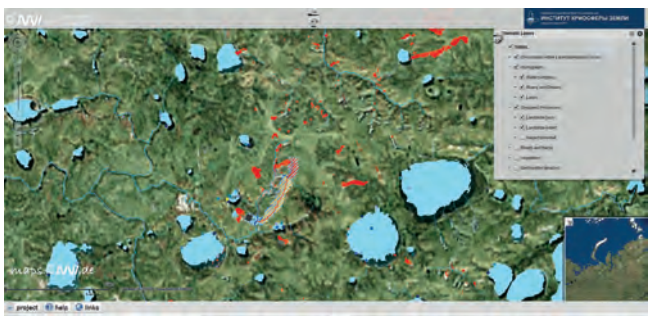


Abb. 3.2: Yamal WebGIS auf maps@awi. Die blauen Punkte zeigen die Wasserprobennahmen (mehrere Jahre) in Thermokarst- und Überflutungsseen in Zentral-Yamal, Sibirien. Die roten Flächen zeigen großflächige Hangrutschungen in dieser sehr von Infrastruktur und menschlicher Nutzung geprägten Permafrost-Landschaft nahe des Bovanenkova Erdgasfeldes, des größten bis dato explorierten westsibirischen Erdgasfeldes. (Grafik: Antonie Haas, AWI)

Abb. 3.3: Die russische Expedition erreicht den mysteriösen Yamalkrater B1, Sommer 2015. Das Foto zeigt Dr. Y. Dvornikov und Dr. M. Leibman bei der Planung der bathymetrischen Mess- und Wasserprobennahme-Kampagne. Die Krater-Wasserproben werden zurzeit in den AWI-Laboratorien und am Russisch-Deutschen Otto Schmidt Labor in St. Petersburg, Russland, auf Isotopen und Organik untersucht. (Foto: Kryosphären-Institut Tyumen)

Diese Methan-Hotspots wurden nur im nördlichen Delta identifiziert, wo sowohl diskontinuierlicher Permafrost als auch große Öl- und Gasvorkommen nachgewiesen sind, nicht aber im Bereich des mächtigeren, kontinuierlichen Permafrosts. Eine Überschlagsrechnung verdeutlicht die Effizienz dieser Hotspots: während rezent mikrobiell produziertes Methan überwiegend während der warmen Sommermonate (etwa 165 Tage) emittiert wird, werden geologische Methanquellen aus Lagerstätten gespeist und können somit ganzjährig emittieren. Unter dieser Annahme wurden die Mediane für die rezent mikrobiellen (0,84 mg m^{-2} h^{-1}) und geologischen Flüsse (6,3 mg m^{-2} h^{-1}) mit der jeweiligen Fläche und dem Emissionszeitraum verrechnet. Hieraus ergibt sich, dass die auf 1 % der Fläche vorkommenden Hotspots rund 17 % zum Methanbudget eines Jahres in dieser Region beitragen. Die meist auf Sommermonate begrenzte und überwiegend auf rezente Methanproduktion in der Auftauschicht fokussierte Forschung hat daher bisher also einen erheblichen Anteil der Gesamtemission dieses wirksamen Treibhausgases nicht beachtet. Das ist aber wichtig, da Methan die etwa 28-fache Treibhauswirkung von Kohlendioxid hat und sein Anteil zudem bei fortschreitender Erwärmung und einer Zunahme diskontinuierlichen Permafrostes künftig weiter steigen kann - was Implikationen auch für andere Öl- und Gasprovinzen in der Arktis hat.

Permafrost und die lateralen Flüsse terrestrischer Organik

Die Yamal-Halbinsel in Westsibirien ist eine weitere, durch Gas- und Öl-Exploration geprägte Permafrost-Landschaft. Das Yamal WebGIS Projekt (Haas et al. 2016, Dvornikov et al. 2016a), visualisiert die Monitoring-Aktivitäten des Kryosphären-Institutes Tjumen: Es zeigt die über die Jahre wiederholten Probenahmen in Thermokarst- und Überflutungsseen in Yamal, die Hangrutschungsflächen und das Hazard(Gefahren)-Potential nahe des Bovanenkova Erdgasfeldes (Abb. 3.2).

Durch die Seen-Langzeitbeprobung (Dvornikov et al., 2016b) kann nachgeweisen werden, dass der Organikgehalt der Seen in warmen Jahren durch die vermehrten Abrutschungen der See-Ufer zunimmt. Höchste Werte wurden in Seen mit viel Permafrost-Degradation (Abb. 3.4), vor allem nach dem außergewöhnlich warmen Sommer in 2012, gemessen. Im Sommer 2015 untersuchte das Kryosphären-Institut Tyumen den mysteriösen Yamalkrater (genannt B1, da dieser Krater als erster entdeckt wurde) ein zweites Mal nach dessen spektakulärer Entdeckung im Jahr 2013 (Leibman und Plekhanov, 2014, Kizyakov et al., 2015). Das Foto (Abb. 3.3) zeigt Yury Dvornikov und Marina Leibman bei der Planung der bathymetrischen Mess- und der Wasserprobennahme-Kampagne.

Permafrostforschung ist eine vielseitige und offene Disziplin, die Natur- und Ingenieurwissenschaften und zunehmend die Sozialwissenschaften integriert. Im Sommer 2016 fand die gemeinsam vom AWI und der Universität Potsdam ausgerichtete 11. Internationale Permafrost Konferenz, ICOP (http://icop2016.org/) in Potsdam statt, eine der mit 751 Teilnehmern aus 40 Nationen bisher größten internationalen Polartagungen in Deutschland. REKLIM hat sich neben den eigentlich wissenschaftlichen Inhalten auch mit einem Social-Media-Kooperationsprojekt mit der DEKRA-Hochschule für Medien Berlin an dieser Konferenz beteiligt, in dem angehende Journalistinnen und Journalisten sowie Filmemacherinnen und Filmemacher auf Social-Media-Kanälen in Interviews, Berichten und Best-of-Day-Videos der Öffentlichkeit Informationen über die Ergebnisse der aktuellen Permafrostforschung und der Konferenz zur Verfügung stellen. Weitere Informationen zu dem Projekt finden sich auch im Beitrag „REKLIM goes public“ am Ende des Reports.

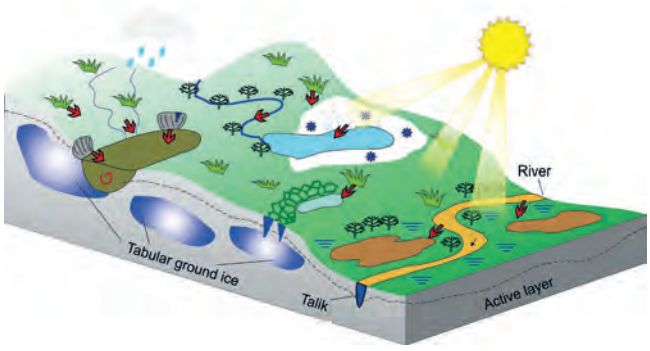


Abb. 3.4: Schematisches Diagramm: Lateraler Transport terrestrischer Organik in das Oberflächenwasser in der Permafrost-Landschaft Yamal. Die verschiedenen Blau- zu Brauntöne der Gewässer stehen für den unterschiedlich hohen Organikgehalt (blau: niedrige Werte von gelöster Organik, braune Farben: die hohe Konzentrationen von gelöster Organik. (Grafik: Yury Dvornikov)

Dr. Birgit Heim (AWI), Birgit.Heim@awi.de | Dr. Torsten Sachs (GFZ), tsachs@gfz-potsdam.de

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?

Durch ihre Speicherfunktion und räumlichen Unterschiede tragen die Landflächen erheblich zur regionalen Ausprägung des Klimawandels bei. Zudem treten Klimafolgen vor allem an der Landoberfläche auf. Hierbei stellt sich insbesondere die Frage, welche zukünftigen Veränderungen der Wechselwirkung von Landflächen und der atmosphärischen Grenzschicht in Bezug auf Wasser-, Energie-, und Stoffflüsse zu erwarten sind. Zur Beantwortung dieser Fragen wird in Topic 4 eine kompartiment-übergreifende Modellierung eingesetzt, die vorhandene Rückkopplungsmechanismen abbildet und gleichzeitig die regionale Schließung der Massen- und Energiebilanzen erfüllt. Unabdinglich für die Entwicklung und Anwendung solcher Modelle sind umfassende multidisziplinäre Beobachtungsdaten, wie sie z.B. in TERENO oder der Global Change Experimental Facility erhoben werden.

Analyse der Bodenfeuchtedynamik von Agrarflächen im Observatorium Nordostdeutsches Tiefland

Das Monitoring landwirtschaftlicher Flächen ist speziell im Hinblick auf deren nachhaltige und ressourcenschonende Nutzung im Kontext des globalen Wandels von entscheidendem Interesse. Speziell die Bodenfeuchte als zentrale Größe für den Austausch von Wasser und Energie an der Schnittstelle zwischen Atmosphäre und Landoberfläche stellt einen der wichtigsten Paramater sowohl für die regionale Landwirtschaft als auch für großflächige hydrologische Modellierung dar. Zur Verbesserung des hydrologischen Prozessverständnisses betreibt das GFZ in Kooperation mit dem DLR Neustrelitz im Raum Demmin des TERENO Observatoriums Nordostdeutsches Tiefland ein agrarmeteorologisches Messnetz, bestehend aus 40 Klimastationen und 64 permanenten Bodenfeuchtemessstationen unter landwirtschaftlichen Flächen unterschiedlicher Nutzung. Dies ermöglicht Analysen zur Variabilität der Bodenfeuchte in Abhängigkeit der lokalen Bodenverhältnisse und der aktuellen Fruchtart (Abb. 4.1). Diese lokalen Messungen fließen in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) in die Analyse agrarmeteorologischer Modelle ein, welche eine Übertragung in den Landschaftraum ermöglichen. Neben diesen punktuellen Analysen werden flächenhafte, auf Fernerkundungsdaten basierende Bodenfeuchtequantifizierungsalgorithmen entwickelt. Der Hauptfokus liegt darin, die Potenziale optischer Sensorsysteme der Fernerkundung (sog. Hyperspektraldaten) in Kombination mit virtuellen Pflanzenmodellen zur Quantifizierung von Bodenfeuchte zu evaluieren. Darüber hinaus werden Analysen auf der Basis von multitemporalen Thermaldaten und von Radar-Fernerkundungsdaten (SAR-Daten) entwickelt. Die Analysen zeigen dabei deutliche Abhängigkeiten zu den lokalen Bodenverhältnissen. Dass auch für deren Erfassung Fernerkundungsdaten eine wichtige Rolle spielen können, haben Blasch et al. 2015a und 2015b für die flächenhafte Verteilung organischer Oberbodensubstanz gezeigt. Diese und weitere auf Fernerkundungsdaten beruhenden Bodenanalyseverfahren sollen zukünftig in das regionale Monitoring Eingang finden.

Abb. 4.1: Luftbildaufnahme mit durch Unterschiede in Bodensubstrat und Bodenfeuchte hervorgerufenen Mustern am 05.06.2015 im Raum Demmin. (Foto: Daniel Spengler, GFZ)

Abb. 4.2: Diese unscheinbaren Messkästen auf einem Testfeld in Leipzig haben es in sich: Sie erfassen kosmische Strahlung. Aus den Messungen kann die Bodenfeuchte je nach Standort in einem Radius zwischen 130-240m abgeschätzt werden. Diese Flächendaten eignen sich besonders zur Assimilierung in Modellen. (Foto: M. Schrön, UFZ)

Assimilierung von Bodenfeuchtedaten aus dem Rur-Einzugsgebiet in terrestrische Modelle

Das integrierte Atmosphären-Landoberflächen-Unterbodenmodell TerrSysMP (Shrestha et al., 2014) ist in der Lage, gekoppelte Simulationen in verschiedenen Kompartimenten des Erdsystems (Boden, Grundwasser, Vegetation, Atmosphäre) durchzuführen. Vorhersagen sind aber weiterhin aufgrund unsicherer Eingangsparameter wie hydraulischer Leitfähigkeit und atmosphärischer Randbedingungen (z.B. Niederschlag) mit großer Unsicherheit verknüpft. Mit dem Verfahren der Datenassimilierung kann man über Online-Messdaten Modellberechnungen in Echtzeit korrigieren, um die Modellberechnungen besser an die Messdaten anzupassen und so die Vorhersageunsicherheit zu reduzieren. Das Datenassimilierungsmodell PDAF (Nerger und Hiller, 2013) wurde an TerrSysMP gekoppelt (Kurtz et al., 2016). In einer synthetischen Teststudie wurden 40 Millionen Zustandsvariablen und Parameter während mehrerer Monate aktualisiert. Das TerrSysMP-PDAF-Modell wurde für das Rur-Einzugsgebiet, einem TERENO-Standort in der Eifel/Niederrheinische Bucht, getestet. Dabei wurden Bodenfeuchtedaten, die aus der Detektion kosmischer Neutronen abgeleitet wurden (Abb. 4.2), aus neun sogenannten Cosmic Ray-Proben (CRPs) assimiliert. Es wurden Datenassimilierungsexperimente nach einer speziellen statistischen Methode (Jackknife) durchgeführt, wobei Daten von acht CRPs assimiliert wurden. Daten der neunten CRP wurden verwendet, um die Simulationsresultate zu überprüfen. Das Experiment wurde neunmal wiederholt, wobei jede der neun CRPs in der Assimilation einmal nicht berücksichtigt wurde. Hierbei konnte festgestellt werden, dass der quadratische Fehler (RMSE) durch die Assimilation um 30% reduziert werden konnte – dies wurde an Messstellen, die nicht in die Assimilation einbezogen wurden, festgestellt (Abb. 4.3).

Die Ergebnisse zeigen auch, dass ein regionales Netz von CRPs das Potential besitzt, die großskalige Charakterisierung von Bodenfeuchtigkeit und Landesoberflächen-Simulationen zu verbessern.

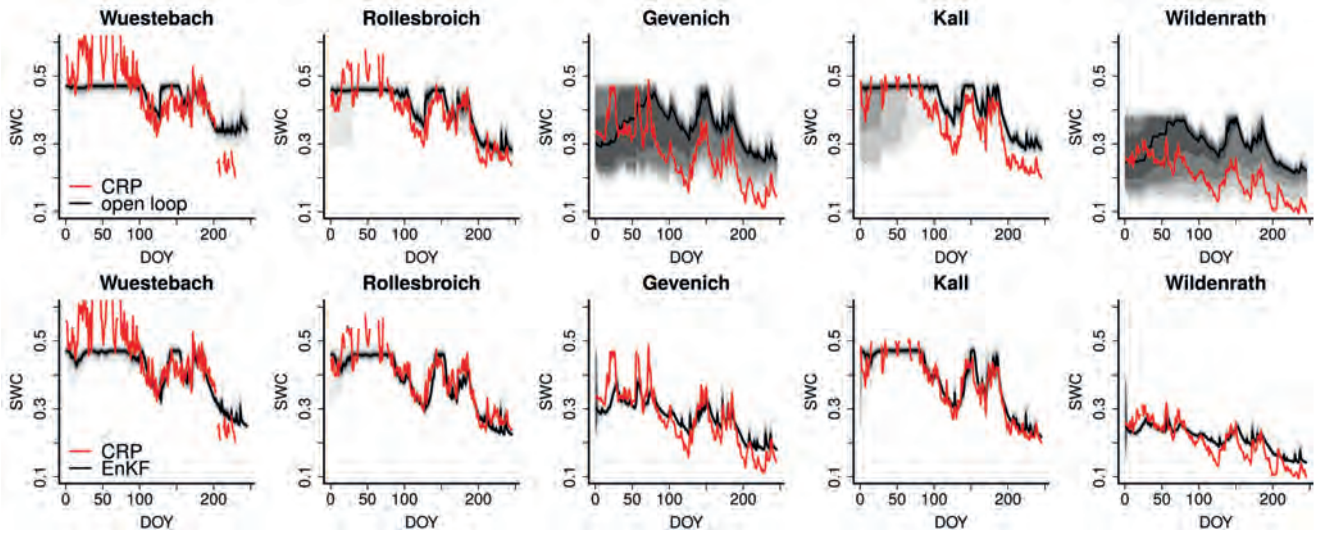


Abb. 4.3: Gemessene (rot) and simulierte (grau) Bodenfeuchtigkeitszeitreihen (Januar - August 2013) für fünf CRPs im Rur-Einzugsgebiet. Die obere Reihe zeigt Simulationsverläufe ohne Datenassimilierung (open loop) und die untere Reihe Simulationsverläufe mit Datenassimilierung. (Grafik: Harrie-Jan Hendricks Franssen, FZJ)

Prof. Dr. Hans Peter Schmid (KIT), HaPe.Schmid@kit.edu | Dr. Andreas Marx (UFZ), Andreas.Marx@ufz.de

IM FOKUS 5

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

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?

Thema 5 konzentriert sich auf den Bereich „Luftzusammensetzung und Klima“ und beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Atmosphäre und ihren gasförmigen Spurengasen. Dieses System umfasst viele Skalen (von kleinen Wirbeln bis hin zu großen Wettersystemen) und Wechselwirkungen (Spurengase, die Strahlung absorbieren und dadurch Temperaturen beeinflussen). Es wird eine vollständige Wirkungskette erforscht, die von globalen zu regionalen Skalen führt. Dazu werden komplexe Modelle verwendet, die kontinuierlich mit atmosphärenchemischen sowie meteorologischen Beobachtungen verglichen werden. Auf der globalen Skala werden zum Beispiel Spurenstoffkreisläufe, Austausch zwischen Stratosphäre (der Teil der Atmosphäre zwischen ca. 15 bis 50 km) und Troposphäre (Teil der Atmosphäre vom Erdboden bis etwa 15 km Höhe), die Struktur der Tropopause (Grenzfläche zwischen Troposphäre und Stratosphäre) und Aerosoleffekte untersucht. Auf kleineren Skalen werden Wechselwirkungen zwischen Wolken, Niederschlag und 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.

Im Folgenden werden drei Beispiele aus den Bereichen Modellierung, Datenassimilation und Gesundheit präsentiert.

Modellierung der Atmosphärischen Zusammensetzung

Atmosphärenmodelle helfen uns, Mechanismen in der Atmosphäre zu verstehen und Vorhersagen (beziehungsweise Projektionen) für die Zukunft zu machen. Sie basieren auf komplizierten, gekoppelten Differentialgleichungen und werden auf leistungsfähigen Rechnern integriert. Mit dem vom Deutschen Wetterdienst und dem Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI) entwickelten Atmosphärenmodell ICON und seiner Erweiterung für reaktive Spurenstoffe und Aerosole (ART) steht ein

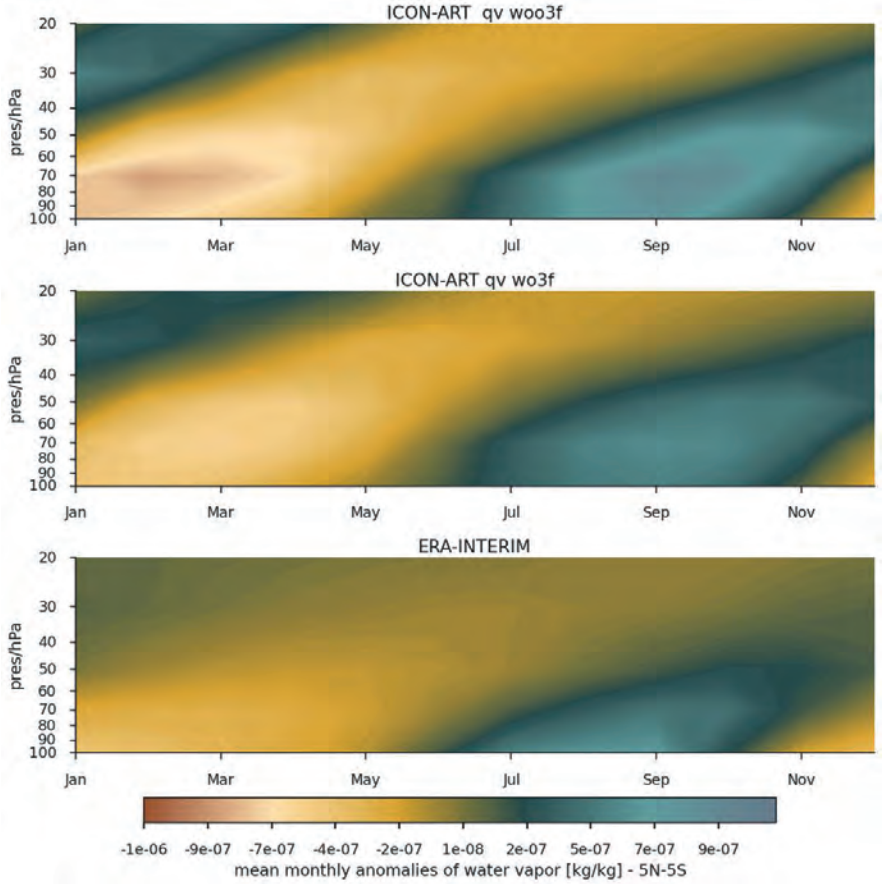


Abb. 5.1: Tape-Recorder im stratosphärischen Wasserdampf. Zeitliche Änderungen der Wasserdampfkonzentrationen mit der Höhe erlauben die Visualisierung von langsamen Vertikalgeschwindigkeiten in der tropischen Stratosphäre (siehe ausführliche Erläuterung im Text). (Grafik: Jennifer Schröter, KIT)

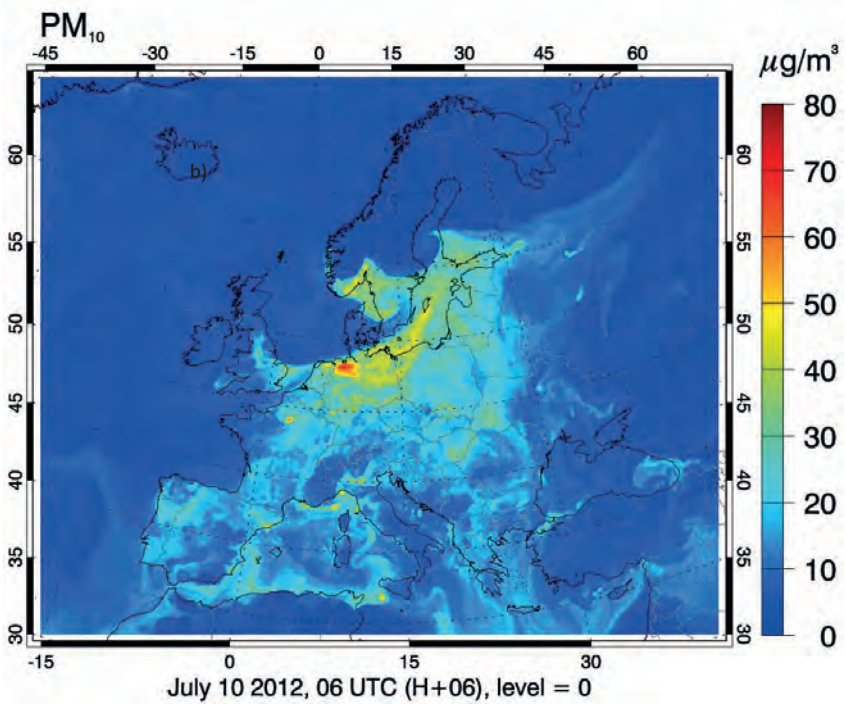


Abb. 5.2: Mit Beobachtungen optimierte Simulation (Assimilationsanalyse) der PM10-Konzentrationen am 10.7.2012 während der Rush-Hour (6:00 UTC). Gut sichtbar ist in diesem Fall die starke Belastung über Norddeutschland, die durch erhöhte Messungen ermittelt wurden. (Grafik: Isabel Ribeiro, UK und FZJ)

modernes Modellsystem zur Verfügung, welches es erlaubt, wetter- und klimarelevante Prozesse skalenübergreifend zu studieren. Alternativ kann das CLaMS Modell beobachtungsnah eingesetzt werden, um das Verhalten von Spurengasen in der Atmosphäre zu studieren.

Ein für die Klimaentwicklung interessantes Phänomen ist die Variabilität des Wasserdampfes in der Stratosphäre. Die zwei Wissenschaftlerinnen, die in „Wir geben REKLIM ein Gesicht" am Ende dieses Reports vorgestellt werden, arbeiten in der Modellierung. Jennifer Schröter (KIT) entwickelt Module für das ICON-ART Modell und nutzt es für Studien des sogenannten „Tape-Recorders". Als Tape-Recorder wird das abwechselnde Aufsteigen von trockener und feuchter Luft in tropischen Breiten oberhalb der Tropopause (~ 17 km) bezeichnet. Mengchu Tao (FZJ) verwendet für ihre Wasserdampf Transportstudien das CLaMS Modell, um den Einfluss von Stratosphärenerwärmungen auf die Variabilität des Wasserdampfes zu verstehen. Stratosphärenerwärmungen treten im Winter in hohen Breiten auf und zeichnen sich durch eine starke Erwärmung der polaren Stratosphäre aus. Sie führen zu großräumigen Änderungen der Zirkulation, die auch den Wasserdampftransport (inklusive des so genannten Tape-Recorders) beeinflussen.

Abb. 5.1 zeigt den sogenannten Tape-Recorder, der das abwechselnde Aufsteigen von trockenen und feuchten Luftmassen im Verlauf des Jahres in den Tropen beschreibt. Dieser befindet sich in den Tropen (hier als Mittel zwischen 5° Süd und 5° Nord dargestellt). Auf der x-Achse ist die zeitliche Entwicklung in Monaten eines Jahres angegeben. Die Simulation umfasste den Zeitraum 1979 bis 1990. Dargestellt ist ein mittleres Jahr, gebildet aus der Gesamtheit des simulierten Zeitraums. Die y-Achse ist eine Höhenachse entlang derer der Druck mit der Höhe abnimmt. Das Höhenintervall deckt in etwa den Bereich von der Tropopause bis in ca. 30 km Höhe ab. Jährlich wiederkehrende Temperaturänderungen an der Tropopause bestimmen, wieviel Wasser aus der Troposphäre in die untere Stratosphäre transportiert werden kann. Generell lässt eine niedrigere Temperatur an der Tropopause (hier am unteren Rand) weniger Wasser in die Stratosphäre gelangen.

Das Temperatursignal prägt sich dem Wasserdampf auf und das generelle langsame Aufsteigen in den Tropen oberhalb von 100 hPa (~ 15 km) wird dadurch sichtbar. Z.B. erkennt man ein Aufsteigen trockener Luft von Februar (100 hPa) bis August (30 hPa) hin, an der „gelben Region" in jedem Panel der Abbildung 5.1. (Anmerkung: Die Abbildung zeigt Abweichungen von einem langjährigen Mittel; natürlich ist der Wasserdampfgehalt selbst immer positiv). Das oberste und mittlere Panel zeigen das Verhalten von ICON-ART in zwei Konfigurationen, bezogen auf die Strahlungsrückkopplung. In der ersten Simulation (oberes Panel) wird eine Ozon-Klimatologie verwendet, in der zweiten Simulation (mittleres Panel) der durch ART online berechnete Ozongehalt. Die Simulationsergebnisse werden mit ERA-Interim (unterstes Panel), einem populären Reanalyse-Produkt des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) für Atmosphärenparameter verglichen.

Datenassimilation als Methode zur Anpassung

Die Komplexität der Atmosphärenmodelle hat in den letzten Jahren mit der Rechenleistung der Super-Computer und den wissenschaftlichen Erkenntnissen zugenommen, nicht zuletzt wegen höherer räumlichen Auflösungen sowie komplexere physikalischer und chemischer Prozesse in der Modellimplementierung. Damit ist jedoch eine gute Vorhersage umso abhängiger von möglichst genauen Anfangswerten und anderen Parametern wie Emissionsraten. Diese kann man durch die Kombination von Beobachtungsdaten mit physikalischen und chemischen Information, kodiert in dem Modell selbst, durch die räumliche und zeitliche, d.h. 4-dimensionale Variationsdatenassimilation (4D-var DA) ermitteln. Auf diese Weise ist das Assimilationssystem in der Lage, den Systemzustand mit dem EURopean Air pollution Dispersion-Inverse Model (EURAD-IM) chemisch konsistent zu berechnen (Elbern et al., 2007). Dabei werden bei der 4D-var Assimilation sowohl bodengestützten Messungen als auch Datenprodukte von satellitengestützten Beobachtungssystemen verwendet. Die optimale 4D-var-Anwendung ist der Schlüssel, quantitativ anthropogene oder biogene Schadstoffkonzentrationsmuster abzuschätzen, sowie deren Wechselwirkungen.

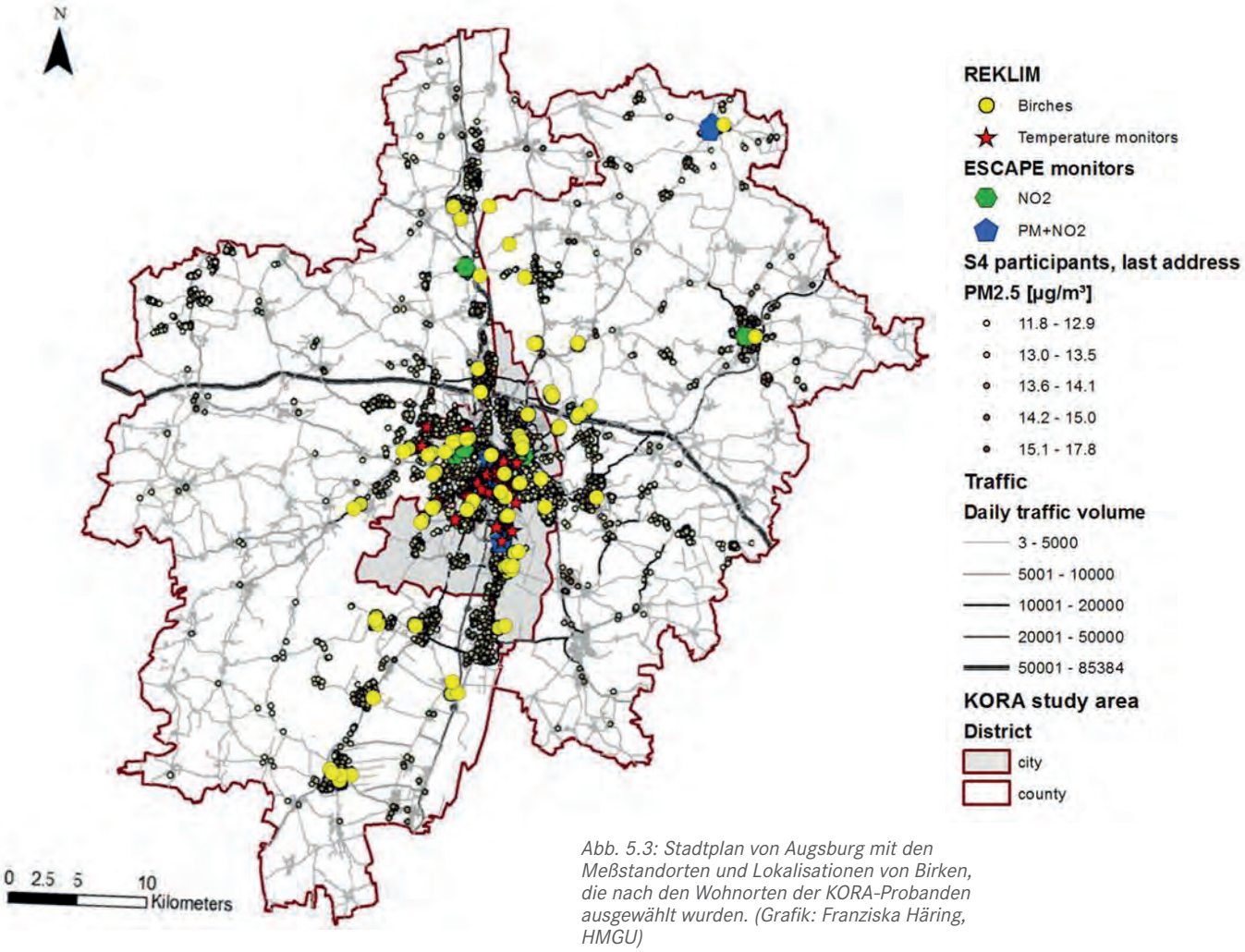


Abb. 5.3: Stadtplan von Augsburg mit den Meßstandorten und Lokalisationen von Birken, die nach den Wohnorten der KORA-Probanden ausgewählt wurden. (Grafik: Franziska Häring, HMGU)

Das EURAD-IM regionale Assimilationssystem wurde für Europa mit einer horizontalen Auflösung von 15x15 km^2 angewandt, um Aerosolvorhersagen zu verbessern. Da Aerosoldynamik von der Gasphase abhängig ist, wurden NO_2, CO, NH_3, O_3, SO_2-Konzentrationen zusammengefasst zu PM10- und PM2,5-Konzentrationen (Feinstaub, deren Staubfraktion zu 50% aus Teilchen mit einem Durchmesser von 10 bzw. 2,5 µm besteht und als besonders gesundheitsschädlich eingeschätzt wird) berücksichtigt. Beobachtungen bestehen aus In-situ-Informationen vom europäischen Luftqualitätsüberwachungsnetz und aerosol-optischen Dichten, also feinstaubbedingte Trübungen von MODIS-Satelliten. Abbildung 5.2 stellt die Analyse nach Datenassimilation für PM10-Konzentrationen am 10.7.2012 während der Rush-Hour (6:00 UTC) dar. Der Abbildung liegt die statistisch nachgewiesenen Verbesserungen der Simulation nach Bias, Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers und der Korrelation zugrunde, die aus verbesserten Anfangswerten und auch aus der Optimierung der anthropogenen Emissionen von Spurengas erzielt wurde. Mit solchen Abbildungen können komplexe Informationen (wo tritt wann wieviel Verschmutzung auf) einfach vermittelt werden.

Atmosphärische Spurenstoffe und Gesundheit

Luftzusammensetzung und Meteorologie spielen eine große Rolle im Bereich der Pollen. Viele Menschen leiden unter Allergien, und es ist wichtig zu verstehen, in welchem Umfeld Pollen entstehen und wie sie dann auf die Menschen wirken.

Im Jahr 2016 wurden 60 Birken in der Nähe von Teilnehmern des KORA Projekts (Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg) ausgewählt (Abb. 5.3). Dort wurden dann die Stickstoffdioxid (NO_2)- und Ozon (O_3)-Konzentrationen gemessen. Blütenstände wurden eingesammelt, deren Pollen nun extrahiert werden. Diese Pollen werden mit einem „Enzyme Linked Immunosorbent Assay“ (ELISA) Verfahren auf ihre Allergenität getestet. Resultate aus vorangegangenen Jahren weisen bereits auf die Bedeutung der Meteorologie hin: Wichtig sind die lokale Temperatur (für die Entwicklung der Blütenstände) und in Episoden weitreichender Transport (Abb. 5.4).

Im Jahr 2015 wurden Pollen und Pilzsporen mit verschiedenen Messgeräten am Südrand von Augsburg erfasst. Dabei konnte eine zeitliche Auflösung von bis zu 2 Stunden erreicht werden. Die Pollenkonzentration (Anzahl der Pollen pro Kubikmeter Luft) wurde analysiert und zeitliche Muster wurden identifiziert. Diese Muster (z.B. Tagesgang vieler Pollensorten mit höchsten Konzentrationen am Abend bis zum frühen Morgen) können Allergiepatienten helfen, Pollen besser zu vermeiden. Zurzeit werden die Pilzsporen identifiziert. Die Messungen werden auch 2016 fortgesetzt und konnten auf den Norden von Augsburg erweitert werden. Auch im Hinblick auf Klimawandel müssen die Pollenerhebungen nun mit Beschwerden von Allergikern verglichen werden. Eine „Allergielandschaft“ für Augsburg ist geplant und wird durch mobile Messgeräte erstellt werden. Dazu gehören auch die koordinierte Auswer-

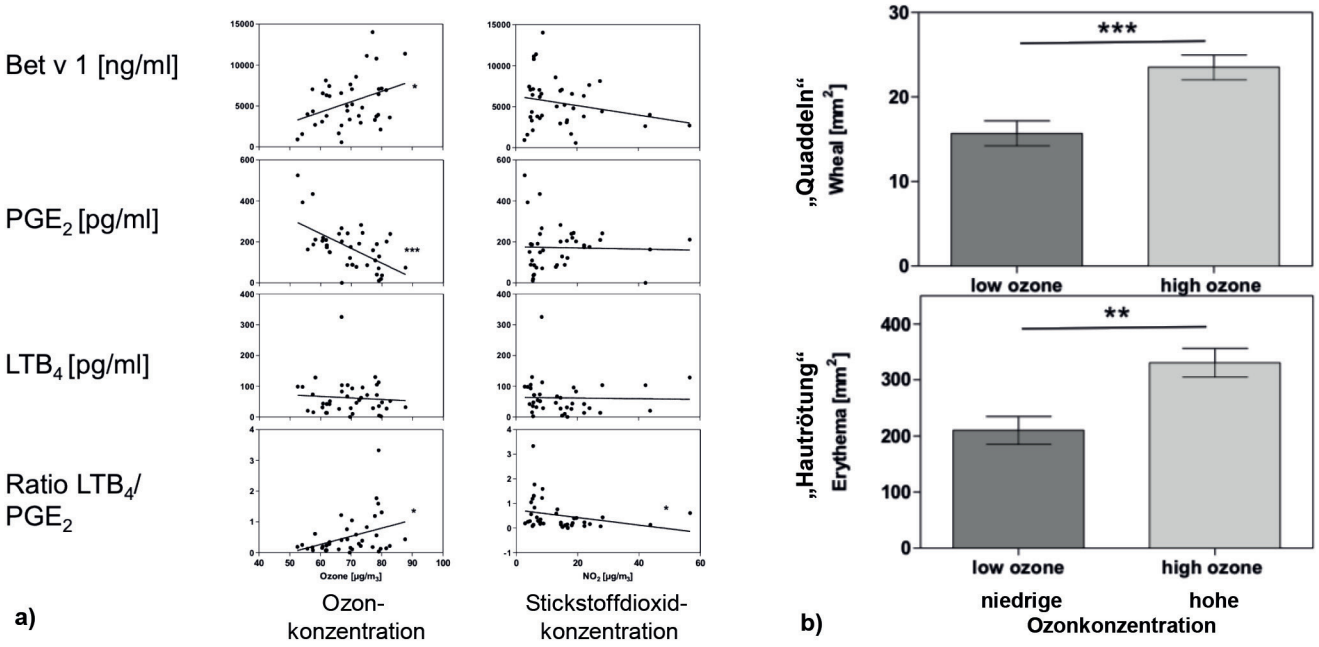


Abb. 5.4: a) Einfluss von Umweltparametern (Ozon- und Stickstoffdioxidkonzentration) auf die Allergenität von Pollen. Dargestellt sind unterschiedliche Endpunkte wie Allergenkonzentration und Konzentration von proentzündlichen Substanzen (LTB4 und PGE2). Gemessen wurden diese in wässrigen Pollenextrakten. b) Ergebnisse von Pricktestuntersuchungen (Allergietest zur Untersuchung der Hautreaktion) bei Allergikern. Es wurden Pollen von Regionen mit hoher oder niedriger Ozonkonzentration verwendet. (Grafik: Isabelle Beck, TUM)

tung von Patientendaten und die statistische Betrachtung vieler Einflussfaktoren. Viele zukünftige Untersuchungen und Messungen sind geplant, um ein besseres Verständnis von Pollen und ihrer Wirkung auf den Menschen zu erhalten.

Städtische Wärmeinseln stellen eine potentielle Gesundheitsgefahr für Stadtbewohner dar, da eine nächtliche Erholung vom Hitzestress unterbunden wird. Daher wird über Vermeidungsmaßnahmen gegen die städtischen Wärmeinseln geforscht. Zwei prinzipielle Möglichkeiten sind die Erhöhung der Albedo der Stadtoberflächen und die Vergrößerung von Parks und Baumpflanzungen in der Stadt, um durch eine erhöhte Verdunstung den Energieeintrag in die städtischen Strukturen zu verringern.

Für das Stadtgebiet von Stuttgart wurden umfangreiche Simulationen für den Hitzesommer 2003 gerechnet. Für die Albedo-Strategie wurde die Albedo aller bebauten Objekte von 0,2 auf 0,7 erhöht, für die Park-Strategie wurden ca. 12 % des Stadtgebiets in Grünanlagen verwandelt. Während beide Maßnahmen zu einer deutlichen Abnahme (1 bis 2 °C) der Temperaturen im Stadtzentrum führen, ist die Auswirkung auf die Luftqualität komplexer (Abb. 5.5). Die Konzentration von primär emittierter Schadstoffe wie CO und NO_x nehmen leicht zu, da durch die geringeren Temperaturen die thermisch erzeugte Turbulenz und damit die Dicke der Mischungsschicht, in die die Schadstoffe hinein verdünnt werden, etwas reduziert ist. Der Tagesmittelwert sekundärer Schadstoffe wie Ozon (CO_3) nimmt ab, da bei den geringeren Temperaturen die Bildungsraten etwas geringer sind. Allerdings nimmt der Spitzenwert von Ozon am Nachmittag bei der Albedo-Strategie zu, da dann mehr kurzwellige Strahlung für die Photolyse zur Verfügung steht.

Weiter komplexe Modellstudien werden benötigt, um bessere Strategien für ein gesünderes Stadtklima erarbeiten zu können.

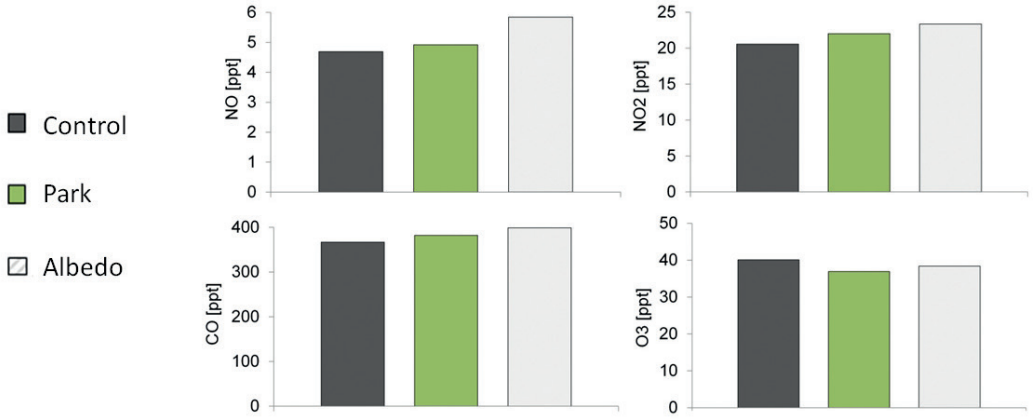


Abb. 5.5: Änderungen der über Stuttgart über einen Tag gemittelten Luftschadstoffkonzentrationen, wenn zwei verschiedene Vermeidungsmaßnahmen gegen die städtische Wärmeinsel durchgeführt würden (Erhöhung der Albedo der Dächer und Straßen und Berücksichtigung einer großen zentralen Parkanlage). Der Anstieg bei den primären Schadstoffen ist auf eine Reduzierung der Höhe der Mischungsschicht zurückzuführen, die Abnahme bei den sekundären Schadstoffen auf die geringere Temperatur. (Grafik: Joachim Fallmann, KIT)

IM FOKUS 6

HZG | KIT | GEOMAR | UFZ

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?

Im Rahmen von Thema 6 werden meteorologische Extremereignisse, deren Charakteristika und die damit verbundenen Austauschprozesse auf regionaler Ebene mit dem Ziel untersucht, die räumliche und zeitliche Variabilität besser zu verstehen. Dazu werden Ergebnisse globaler und regionaler Klimamodelle mit Daten verschiedener Beobachtungssysteme kombiniert. Schwerpunkte der Forschungsarbeiten sind Analysen der durch den Klimawandel bedingten Änderungen der Häufigkeit und Intensität von Dürren, tropischen und außertropischen Stürmen, Starkniederschlägen und schweren Gewitterereignissen.

Hochaufgelöste Wettersimulationen für die letzten 67 Jahre

Um Änderungen von Extremereignissen wie Stürmen verlässlich abschätzen zu können, werden möglichst lange und homogene Zeitreihen des Wetters der vergangenen Jahrzehnte benötigt. Hierfür liegen Wetterinformationen auf einem Gitter auf Basis von Beobachtungen vor; mit höherer Auflösung allerdings nur für die letzten Jahrzehnte. Mit Hilfe eines hochaufgelösten globalen Klimamodells (ECHAM6, rund 50 km Maschenweite) wurden am HZG daher Wettersimulationen für die letzten rund 70 Jahre durchgeführt. Zur Anwendung kam dabei eine neue Methode, mit der die Modellfelder für großskalige Wettersysteme wie beispielsweise Hoch- und Tiefdruckgebiete nah an den Beobachtungen bleiben. Kleinskalige, regionale Wettererscheinungen, die von den gegitterten Beobachtungsdaten nicht aufgelöst werden, simuliert das Klimamodell hingegen eigenständig. Damit können sowohl globale Strömungen als auch regionale Stürme realitätsnah dargestellt werden. Die Wiedergabe lokaler Wetterphänomene liefert einen zusätzlichen Mehrwert gegenüber den grob gegitterten Wetterinformationen.

Abbildung 6.1 zeigt eine Momentaufnahme des Wirbelsturms „Pam“ im Südpazifik aus der Langzeitsimulation mit ECHAM6 (links) sowie zum Vergleich die aus Beobachtungsdaten bestimmten Felder, die als Antrieb des Modelllaufs dienten (rechts). Dabei erreicht der Sturm aus den ECHAM6-Simulationen deutlich höhere Windgeschwindigkeiten und einen niedrigeren Kerndruck und wird damit wesentlich realistischer reproduziert (siehe auch Abbildung 6.2, die einen Taifun über dem Ostchinesischen Meer zeigt). Wirbelsturm „Pam“ zog im März 2015 über den Inselstaat Vanuatu hinweg und erreichte bei einem Kerndruck von 896 hPa Windgeschwindigkeiten von über 280 km/h. Als Sturm der höchsten Kategorie 5 der Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala erhielt er den Status eines Super-Zyklons. Im letzten Drittel seiner Lebensspanne (6. bis 22. März 2015) wandelte er sich in ein außertropisches Tiefdrucksystem um.

Häufig wandeln sich tropische Wirbelstürme im Atlantik auf ihrem weiteren Weg in außertropische Tiefdruckgebiete der mittleren Breiten um, die dann weiter in Richtung Europa ziehen. Dort verursachen sie oft zahlreiche Schäden durch

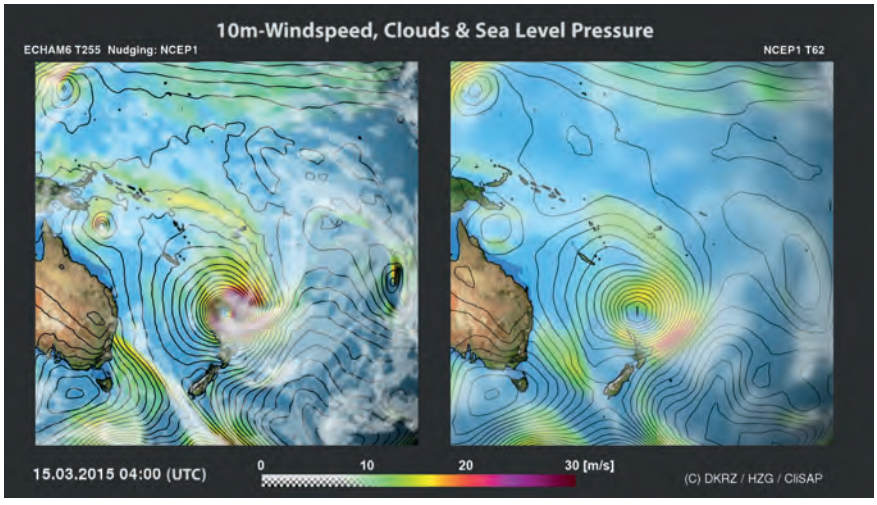


Abb. 6.1: Zyklon Pam am 15.03.2015 um 4:00 UTC nördlich von Neuseeland im neuen globalen hochaufgelösten Klimalauf (links) und in gegitterten Wetterdaten (rechts). Zu sehen sind die Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (farbig), Wolken (weiß) und der Druck auf Meeresniveau (schwarze Isolinien). Der Sturm wird in der neuen Simulation mit deutlich höherer Windgeschwindigkeit und niedrigerem Kerndruck dargestellt. (Grafik: DKRZ/HZG/CliSAP)

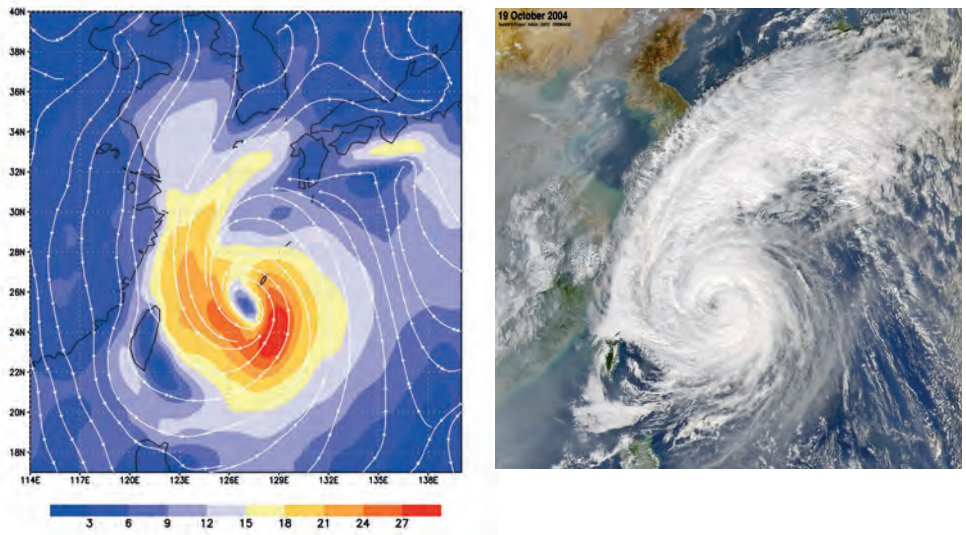


Abb. 6.2: Windgeschwindigkeit [m/s] in 10 m Höhe des Taifuns Tokage am 19.10.2004 um 6:00 UTC über dem Ostchinesischen Meer im neuen globalen hochaufgelösten Klimalauf (links) (Schubert-Frisius et al., 2016) und das Satellitenbild vom 19.10.2004, 4:10 UTC (rechts) (zur Verfügung gestellt vom SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center und ORBIMAGE). Im neuen Klimalauf sind die Starkwindbereiche um das Zentrum des Wirbelsturms gut zu erkennen, ebenso wie das Auge des Taifuns, in dem relativ niedrige Windgeschwindigkeiten vorherrschen. Das Satellitenbild zeigt die Wolkenmuster des Wirbelsturms. (Grafik: Martina Schubert-Frisius, HZG)

starke Winde, hohe Niederschlagsmengen und Sturmfluten. Diese besondere Art tropischer Wirbelstürme wurde ebenfalls mit dem neuen ECHAM6-Lauf simuliert und statistisch für die vergangenen 67 Jahre analysiert. Danach unterliegen schwächere Stürme keinen langfristigen Veränderungen. Für stärkere Stürme ergibt sich hingegen eine leichte Zunahme. Die Längen der Zugbahnen zeigen einen leicht zunehmenden Trend, was zur Folge haben könnte, dass in Zukunft mehr dieser Stürme Europa erreichen.

Die ECHAM6-Klimasimulation (Schubert-Frisius et al., 2016) ist für gut 200 meteorologische Größen (stündlich) über die Datenbank des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) verfügbar (http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CLISAP_MPI-ESM-XR_t255l95).

Einfluss der Erwärmung des Mittelmeers der letzten Jahre auf Starkniederschläge über Zentraleuropa

Ob und wie der globale Klimawandel Wetterextreme beeinflusst, ist nach wie vor eine Frage, die noch nicht vollständig beantwortet ist. Ein besonderes Interesse gilt dabei Starkniederschlägen, die in den letzten Jahren des Öfteren in Zentraleuropa zu Überschwemmungen geführt haben. Beispiele hierfür sind die Hochwasserereignisse im Jahr 2002 an der Elbe, 2010 an der Oder und 2013 an Donau und Elbe. Im Fokus einer neuen Studie des GEOMAR steht die Frage, in wieweit die Erwärmung des Mittelmeers der letzten Jahrzehnte (Abbildung 6.3) Starkniederschläge über Zentraleuropa begünstigt haben.

Dazu wurde eine Reihe von Simulationen mit einem globalen Atmosphärenmodell durchgeführt (horizontale Auflösung: T159; 0,75°×0,75°), um den Einfluss der Erwärmung des Mittelmeers während der letzten Jahre zu isolieren (Volosciuk et al., 2016). Ein Kontrollexperiment verwendete die mittleren sommerlichen Meeresoberflächentemperaturen (SSTs) des Mittelmeers der Periode 1970-1999, ein Sensitivitätsexperiment die sommerlichen SSTs des Mittelmeers gemittelt über die Periode 2000-2012. Ein weiteres Sensitivitätsexperiment verwendete die globalen SSTs gemittelt über die Periode 2000-2012. Dabei zeigt sich, dass sich die extremen Niederschläge in Zentraleuropa längs der Zugbahnen der sogenannten Vb-Zyklonen (z.B. ursächlich für das Elbe-Hochwasser 2002) im Vergleich zum Kontrollexperiment signifikant erhöhen, wenn die SSTs des Zeitraums 2000-2012 berücksichtigt werden (Abb. 6.4).

Die Zunahme von Extremniederschlägen (20-Jahre Wiederkehrwahrscheinlichkeit) über Zentraleuropa (rote Box in Abb. 6.4a) erhöht sich um etwa 17% gegenüber dem Kontrollexperiment, das die SSTs des Zeitraums 1970-1977 verwendet. Dieses Ergebnis ist unabhängig davon, ob die SSTs nur im Mittelmeer oder die globalen SSTs für den Zeitraum 2000-2012 zugrunde gelegt werden. Dies Ergebnis zeigt deutlich, dass tatsächlich höhere SSTs des Mittelmeers Starkniederschläge über Zentraleuropa verstärken.

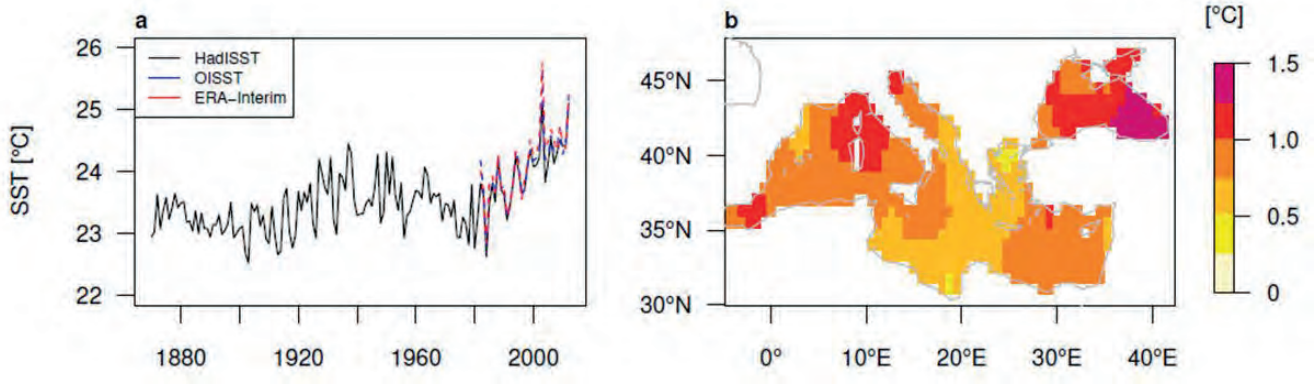


Abb. 6.3: Analyse der Meeresoberflächentemperatur (SST) des Mittelmeers im Sommer. (a) Historische Entwicklung der SSTs gemittelt über die Region 5°W – 42°E und 30°N – 48°N. Insgesamt sind drei SST-Analysen gezeigt. (b) Signifikante (95%) Differenz der SST zwischen den Zeitperioden 2000-2012 und 1970-1999. (Graphik: Claudia Volosciuk, GEOMAR)

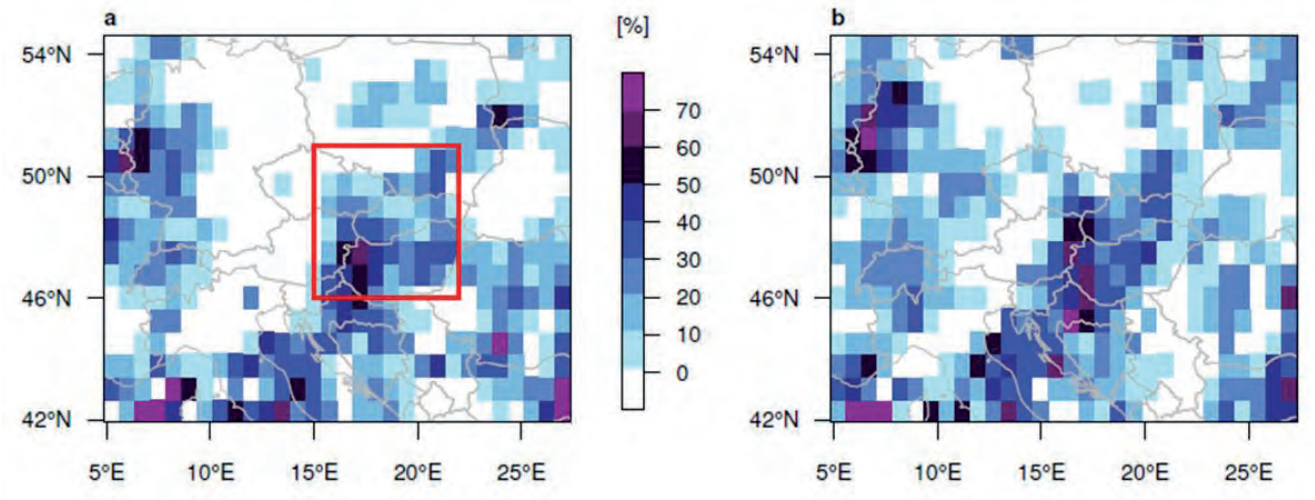


Abb. 6.4: Anstieg von Extremniederschlägen (20-Jahre Wiederkehrwahrscheinlichkeit) relativ zum Kontrollexperiment. (a) Experiment, in dem die SSTs des Mittelmeers gemittelt über den Zeitraum 2000-2012 und (b) die globalen SSTs gemittelt über den Zeitraum 2000-2012 verwendet wurden. (Grafik: Claudia Volosciuk, GEOMAR)

Grundwasserdürren in Deutschland

Die Veränderung der Niederschlagsaktivität – beispielsweise die Zunahme der Winterniederschläge bei gleichzeitiger Abnahme der mittleren Sommerniederschläge in Deutschland – hat auch einen erheblichen Einfluss auf die Grundwasserneubildung. Niedrigwasserstände im Grundwasser, auch als Grundwasserdürren bezeichnet, können damit häufiger auftreten. Für statistische Auswertungen der Grundwasserstände liegen bisher aber zu wenig umfassende Grundwasserbeobachtungsdaten auf regionaler und globaler Ebene vor.

Um Grundwasserdürren dennoch quantifizieren und vorherzusagen zu können, werden häufig indirekte Daten genutzt, sogenannte alternative Proxies oder Indizes. Der standardisierte Niederschlag-Index (SPI) gibt die Abweichung eines aktuellen Niederschlagswertes von einem historischen Durchschnittswert an. Er ist einer der am häufigsten verwendeten Indizes, um Dürren in verschiedenen Kompartimenten des Wasserkreislaufs zu charakterisieren. Am UFZ wurde die Eignung des SPI für die Quantifizierung von Grundwasserdürren untersucht. Dazu wurde der SPI mit einem auf Beobachtungen beruhenden standardisierten Grundwasserindex (SGI) an 2000 Brunnen in Süddeutschland verglichen (Abb. 6.5a). Die Ergebnisse dieser umfassenden Analyse zeigen, dass der SPI ungenügend für die Charakterisierung von Grundwasserdürren ist. So weist der SPI unabhängig von den betrachteten Akkumulationsperioden eine sehr geringe Trefferquote (im Mittel zwischen 0,2 und 0,5 siehe Abb. 6.5b) und eine sehr hohe Fehlalarmquote auf (zwischen 0,5 und 0,8). Dabei gilt, je extremer eine Grundwasserdürre ausfällt, umso niedriger ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese vom SPI erfasst wird. In Zukunft sollten daher Grundwasserstände verstärkt beobachtet und deren Daten besser zusammengeführt werden, um damit Grundwasserdürren auf kleinen räumlichen Skalen, welche für das Wasserressourcenmanagement relevant sind, besser charakterisieren und vorhersagen zu können.

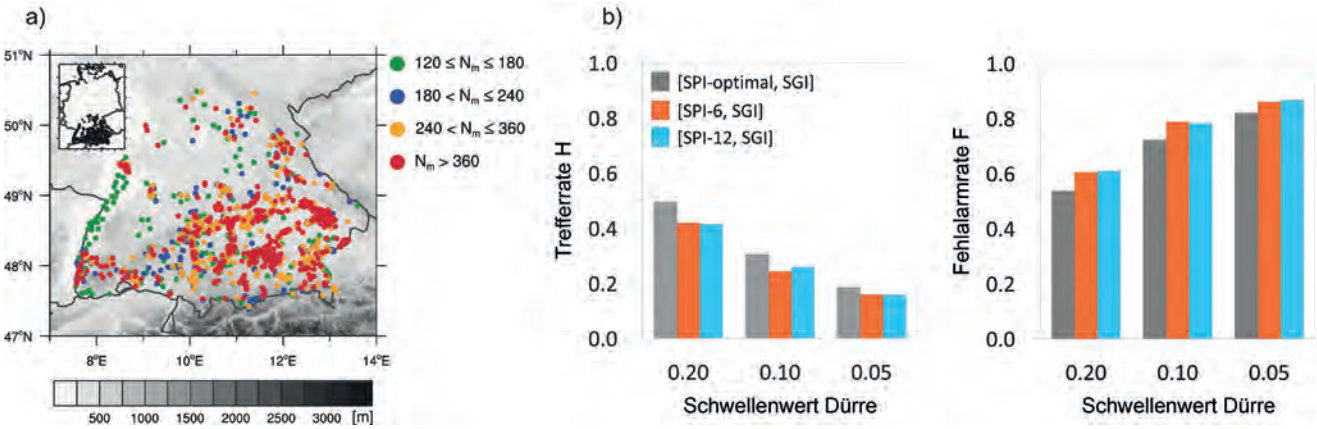


Abb. 6.5: (a) Standorte der Brunnen in Süddeutschland, deren Daten für Vergleiche des standardisierten Niederschlag-Index (SPI) herangezogen wurden. Die Farbe der Punkte zeigt die Anzahl der Monate mit Daten im Zeitraum 1950-2013 an. (b) Mittlere Trefferrate (H) und Fehlalarmrate (F) des SPI in Bezug auf Grundwasserdürren, welche auf dem standardisierten Grundwasserindex (SGI) basieren, für 6 und 12 monatige Akkumulationszeiten und die jeweils optimale Akkumulationszeit (mit maximaler Korrelation zwischen SPI- und SGI-Zeitreihen). Diese beiden auf Kontingenztabellen beruhenden Indizes werden für Dürreereignisse unterschiedlicher Intensität analysiert (0,2 - mäßige Dürre, 0,1 - schwere Dürre und 0,05 - extreme Trockenheit; http://droughtmonitor.unl.edu/AboutUs/ClassificationScheme.aspx; Kumar et al., 2016). (Grafik: UFZ)

Konvektive Starkniederschläge

Konvektive Starkniederschläge können trotz der geringen räumlichen Ausdehnung der davon betroffenen Gebiete durch Sturzfluten und Überschwemmungen vor allem in kleinen Gerinnen zu massiven Schäden führen. So verursachten beispielsweise die schweren Gewitter Ende Mai und Anfang Juni 2016 in Deutschland in einem Zeitraum von fast zwei Wochen Schäden in Milliardenhöhe. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit sich in der Vergangenheit die Gewitterwahrscheinlichkeit verändert hat, und welche Ursachen die raumzeitliche Variabilität der Gewitter maßgeblich bestimmen.

Für die Analyse der langzeitlichen Entwicklung des Konvektionspotentials wurde am KIT eine neue objektive Wetterlagenklassifikation als Proxy für Gewitter entwickelt, die auf Modelldaten anwendbar ist. Unter Verwendung von hochaufgelösten Reanalysedaten (CoastDatII des HZG) konnte gezeigt werden, dass sich in Deutschland im Zeitraum von 1958 bis 2014 die Zahl der Tage mit einer erhöhten Gewitterneigung nicht signifikant verändert hat (Abb. 6.6). Gleichzeitig sind aber sehr hohe Schwankungen von Jahr zu Jahr zu beobachten.

Dagegen sind die Zeitreihen der angepassten Wetterlagen sehr ähnlich zueinander – aber nur bis zu einem gewissen Abstand von mehreren 100 bis 1000 km je nach Richtung. Zeitreihen dieses Proxys sind also nicht nur für einen Standort, sondern für ein größeres Gebiet gültig. So zeigt die zeitliche Entwicklung der Gewitterhäufigkeit für Süddeutschland (Referenzpunkt Stuttgart) beispielsweise einen engen Zusammenhang mit einem großen Gebiet, das von dort bis nach Südfrankreich reicht (Abb. 6.7). Demgegenüber ist die Korrelation der Zeitreihen zwischen dem Referenzpunkt und anderen Regionen, beispielsweise mit Norddeutschland, nur schwach ausgeprägt. Folglich hängt der Grad der Gewitterneigung in Deutschlands Südhälfte entscheidend von der Advektion feucht-warmer, labil geschichteter Luftmassen aus dem Südwesten ab, wohingegen deren Einfluss nach Norden hin an Bedeutung verliert. Eine Analyse typischer Strömungsmuster an Gewittertagen bestätigt dieses Ergebnis.

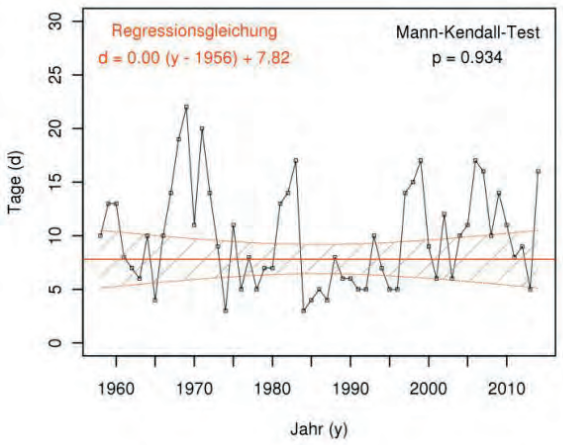


Abb. 6.6: Verlauf der jährlichen Anzahl der Tage mit gewitterförderlichen Bedingungen (1958-2014) im Mittel über Deutschland mit Trendlinie und Konfidenzintervall (rot). (Grafik: David Piper, KIT)

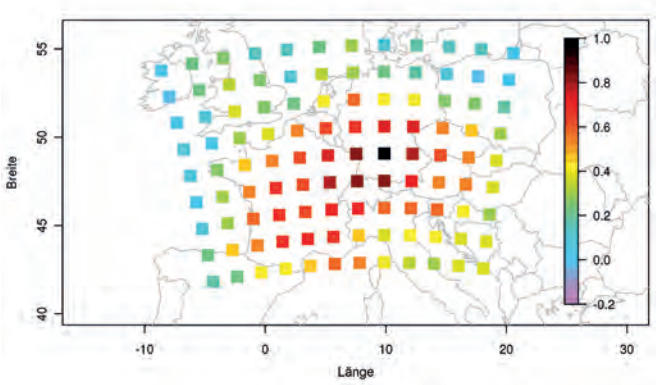


Abb. 6.7: Räumliche Verteilung der Korrelation (Spearman) der Zeitreihe der jährlichen Anzahl der Tage mit gewitterförderlichen Bedingungen (1958-2014) hinsichtlich des Referenzpunkts Stuttgart. (Grafik: David Piper, KIT)

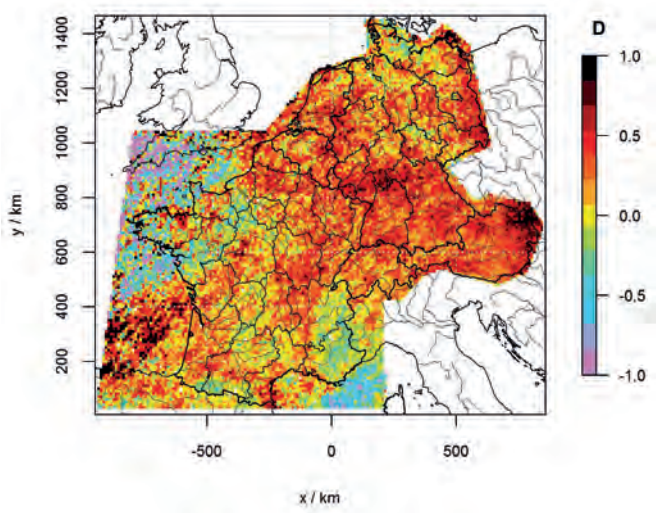


Abb. 6.8: Normierte Abweichung der relativen Häufigkeiten von Gewittertagen (2001-2014) in Bezug auf Monate mit NAO < -1 und alle Monate. Ein Wert von D=1 bedeutet, dass die relative Häufigkeit für Gewittertage an Monaten mit NAO < -1 doppelt so hoch war wie insgesamt.(Grafik: David Piper, KIT)

Um die Ursachen der zeitlichen Variabilität besser zu verstehen, wurde der Zusammenhang zwischen Gewitterbeobachtungen (Blitzdaten EUCLID-Netz) und großskaligen atmosphärischen Telekonnektionsmustern wie der Nordatlantischen Oszillation (NAO; relative Druckabweichung zwischen Island und Portugal) näher untersucht. So ergab der Vergleich der relativen Häufigkeiten von Gewittertagen für die Sommerhalbjahre 2001-2014, dass eine negative NAO-Phase (NAO < -1) in vielen Regionen das Auftreten von Gewittern begünstigt (Abb. 6.8). Besonders stark fällt dieser Effekt beispielsweise im Osten Österreichs aus. Ein positiver NAO-Index (NAO > 1) wirkt sich hingegen konvektionshemmend aus (nicht abgebildet). Eine tiefergehende Analyse dieses auffälligen Zusammenhangs ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten.

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

IM FOKUS

7

HZG | KIT | UFZ | EUV | UHH | UKA

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?

Das Thema 7 der REKLIM-Phase I (Sozioökonomie und Management für regionale Klimaanpassungs- und Vermeidungsstrategien) wurde mit dem Portfolio-Topic 10 (Risikoabschätzung und Risikomanagement von Klimaanpassungsstrategien) erfolgreich zum neuen Thema 7 (Risikoabschätzung und Risikomanagement für integrierte regionale Klimastrategien) der REKLIM-Phase II (2015-2019) zusammengeführt. Daraus entwickelte sich das interdisziplinäre topic- und zentrenübergreifenden Projekt „Downscaling social climate knowledges: the social framing of regional and local weather extremes in Germany", zu dem im März 2016 ein Koordinationstreffen der Projektmitglieder (HZG, UFZ und KIT) stattfand, bei dem die zu untersuchenden Extremwetterphänomene, Untersuchungsräume und -methoden festgelegt wurden. Die Arbeit des Projektes beginnt im September 2016. Desweiteren wurden Arbeiten aus der REKLIM-Phase I abgeschlossen, die im Folgenden schlaglichtartig dargestellt werden.

Wie nah oder fern ist der Klimawandel? Eine Feldstudie in Nordfriesland

In den vergangenen Jahren hat sich die sozialwissenschaftlich orientierte Klimaforschung eingehend mit der Wahrnehmung und den Einstellungen zum Klimawandel beschäftigt. Vorläuferstudien machten deutlich, dass sowohl die Wahrnehmung als auch die Einstellungen zum Thema Klimawandel ortsabhängig sind und durch psychologisch empfundene Distanzen geographisch, zeitlich und sozial strukturiert werden. Ausgehend von dieser Einsicht wurden in einer speziellen qualitativen Studie 34 halbstrukturierte Interviews mit Bewohnern des Küsten- und Insellandkreises Nordfriesland geführt und auf unterschiedlichen Distanzen hin untersucht. In einem ersten Schritt wurden alle Interviews aus Perspektive der „Grounded Theory" im Hinblick auf die Frage des Klimawandels hin analysiert. Die Theorie ist ein Ansatz, mit dem systematisch Interviewdaten aus einer qualitativen Perspektive analysiert und in soziale Muster der Sinnstiftung überführt werden. Diese Analyse brachte eine thematische Strukturierung der Interviews hervor (Tab. 7.1), die jeweils durch das Zusammenspiel von geographischer, temporärer sowie sozialer Nähe und Ferne geprägt war. Die empirische Untersuchung verdeutlicht, dass der Klimawandel je nach analytischer Kategorie als geographisch, zeitlich und sozial entfernt, aber auch als in allen Belangen nah und sich direkt vor Ort auswirkend interpretiert wird. Dieses Spannungsfeld birgt sowohl wichtige theoretische als auch praktische Implikationen, da je nach Ort und Erfahrung eine differierende Wahrnehmung, unterschiedliche Einschätzungen und Einstellungen zum Themengebiet Klimawandel die Bereitschaft zu Anpassungs (adaptation)- und Vorsorge (mitigation)-maßnahmen beeinflussen kann. Diese bestehen unabhängig von wissenschaftlichen Ergebnissen und deren Kommunikation. Vielmehr wird deutlich, dass es notwendig ist, ortsbezogene und empfundene Distanzen als analytisches Hilfsmittel

8 thematische Kategorien
Klimawandel ist ein globales Phänomen
Klimawandel ist ein lokales Phänomen
Klimawandel ist ein besorgniserregendes Phänomen
Klimawandel ist ein unsicheres Phänomen
Der Klimawandel ist ein menschlich verursachtes Phänomen
Der Klimawandel ist ein Zukunftsthema
Der Klimawandel ist ein sich abzeichnendes Phänomen
Der Klimawandel ist ein politisches Thema

Tab. 7.1 : Thematische Strukturierung der Interviews in Nordfriesland (Quelle: Martin Döring, UHH)

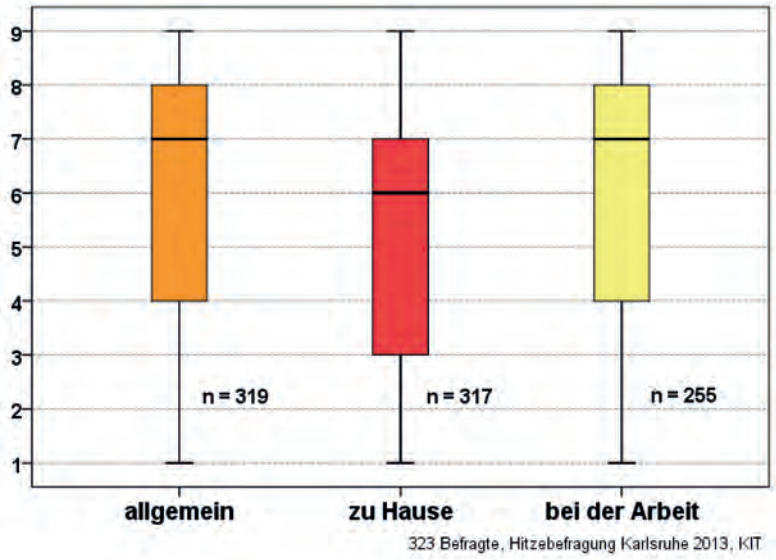


Abb. 7.1: Subjektiv empfundene Hitzebelastung auf einer Skala von 1 (keine Belastung) bis 9 (sehr starke Belastung), Boxplots; die Hitzebelastung bei der Arbeit wurde nur bei Erwerbstätigen und Studierenden/Auszubildenden erhoben (Kunz-Plapp et al., 2016). (Grafik: Tina Kunz-Plapp, KIT)

für einen verorteten Umgang mit dem Klimawandel zu nutzen. Sie bieten Einstiegspunkte für die ergebnisoffene Aushandlung von Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen zwischen Wissenschaft, Politik und örtlichen wie regionalen Interessensvertretern. Die Anerkennung regionaler und lokaler Befindlichkeiten in Form unterschiedlicher Distanzen und Nähen zum Klimawandel birgt das Potenzial, eine soziale angemessene, planungstechnisch zielführende und wissenschaftlich informierte Aushandlung zwischen Interessensvertretern, Politik und Wissenschaft herbeizuführen (Döring und Ratter, 2015).

Anpassung an den Klimawandel in Städten – Was können wir aus der Erfahrung von Hitzebelastung im Alltag lernen?

In Städten lebende Menschen sind bei Hitzewellen aufgrund des urbanen Wärmeinseleffekts besonders hohen Temperaturen ausgesetzt. Um die Erfahrungen mit Hitzebelastung von Stadtbewohnern bei der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen berücksichtigen zu können, wurden im Anschluss an eine Hitzeperiode im Sommer 2013 eine Befragung in Karlsruhe zur subjektiv empfundenen Hitzebelastung im Alltagskontext unter 323 Bürgern durchgeführt. Zusammenfassend betrachtet gaben die Befragten an, Hitze in Alltagssituationen unterschiedlich stark als Belastung erlebt zu haben. So wird z.B. zu Hause Hitze als nicht ganz so belastend erlebt wie bei der Arbeit (Abb. 7.1), wo trotz Beeinträchtigungen wie Konzentrationsschwierigkeiten oder körperlicher Erschöpfung und Müdigkeit infolge von hitzebedingten Schlafproblemen im Kontext der Anforderungen des Arbeitslebens mit der Hitze umgegangen werden muss. Die bereits genannten Beeinträchtigungen stellen neben übermäßigem Schwitzen die am häufigsten erfahrenen gesundheitlichen Probleme durch Hitze dar (Abb. 7.2). Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die subjektive Hitzebelastung im Allgemeinen sind gesundheitliche Faktoren und das Gefühl, der Hitze ohnmächtig ausgeliefert zu sein. Zu Hause wird die subjektive Hitzebelastung außerdem durch verschiedene Aspekte des urbanen Wohnumfelds und des bewohnten Gebäudes maßgeblich beeinflusst, also z.B. durch die thermische Belastung des bewohnten Stadtteils, das bewohnte Stockwerk, den am Gebäude vorhandenen Hitzeschutz und den thermischen Standard sowie durch das Vorhandensein von direkt zugänglichen Aufenthalts- und Erholungsmöglichkeiten im Freien.

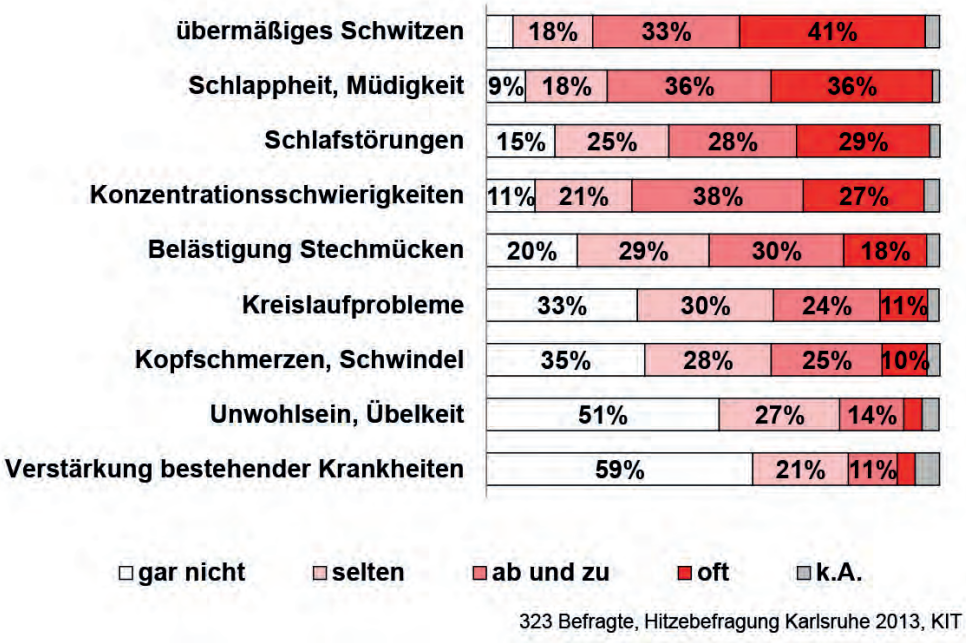


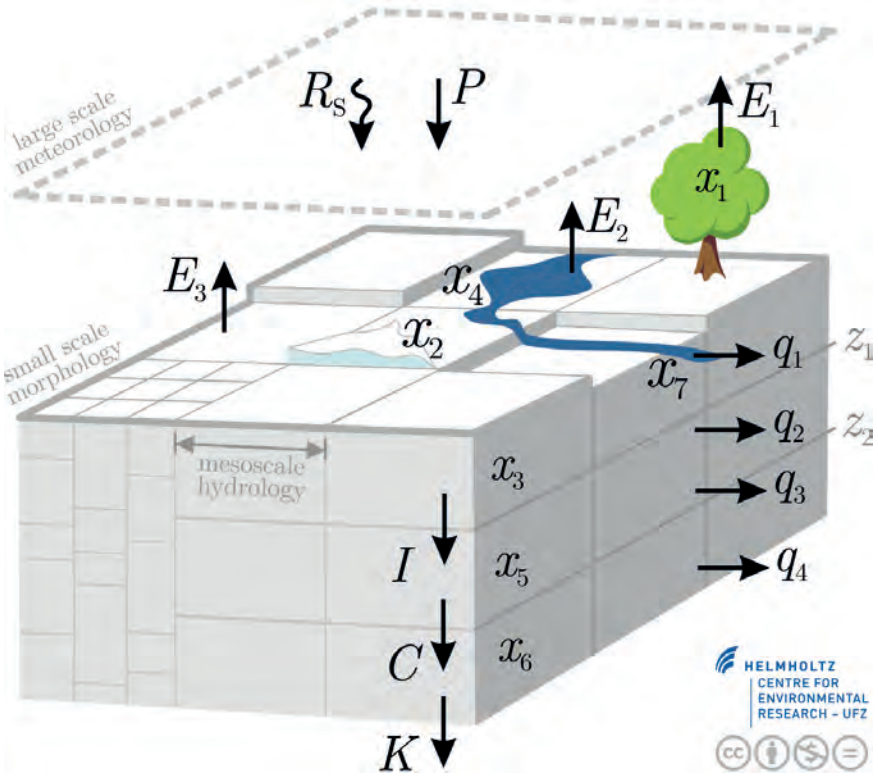
Abb. 7.2: Art und Häufigkeit von Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Hitze (Kunz-Plapp et al., 2016). (Grafik: Tina Kunz-Plapp, KIT)

Vor dem Hintergrund häufigerer, längerer und intensiverer Hitzewellen verweisen die Ergebnisse auf die erlebte und spürbare Wirkung baulicher Maßnahmen wie Hitzeschutz und Wärmedämmung an Gebäuden. Die vielen Angaben zur hitzebedingten Verminderung von Leistungsfähigkeit bei der Arbeit sowie zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze stellen sowohl ein Thema für Anpassungsmaßnahmen in Bereich Wohnen wie für den Bereich der Arbeitswelt und ökonomischen Produktion dar.

Bodenfeuchteanomalien als erklärende Variablen von Feldfruchterträgen

Trotz aller bisher unternommenen Bemühungen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen wird es aufgrund der Trägheit des Klimasystems in Zukunft voraussichtlich zu einer Häufung meteorologischer Extremsituation kommen. Schon heute haben Naturgefahren wie etwa Dürren und Hitzewellen das Potenzial, den Ertrag in der nicht bewässerten Landwirtschaft drastisch zu verringern. Auch für Deutschland ist dieser Sachverhalt relevant, da der Anteil der bewässerten Landwirtschaftsflächen vergleichsweise gering ist. So verursachte zum Beispiel die Dürre 2003 allein in Deutschland direkte Verluste in Höhe von geschätzten 1,5 Mrd. EUR (COPA-COGECA, 2003).

Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, geeignete Modelle zur großräumigen Abschätzung der Auswirkungen von Wasserknappheit auf die Landwirtschaft zu entwickeln, um auf dieser Basis geeignete Anpassungsstrategien vorzuschlagen. Dafür ist es notwendig, den Einfluss von hydrologischen und meteorologischen Faktoren auf Feldfruchterträge in der Landwirtschaft zu analysieren. Basierend auf einer derartigen Produktionsfunktion können durch entsprechende Anpassungsmaßnahmen vermiedene Schäden abgeschätzt und den jeweiligen Kosten gegenübergestellt werden. Dies geschieht mit Hilfe einer Abschätzung der Effekte meteorologischer und hydrologischer Determinanten auf landwirtschaftliche Erträge und auf Grundlage ökonometrischer Modelle. Hier ist die Auswirkung von simulierter Bodenfeuchte (Abb. 7.3) auf Erträge verschiedener Feldfrüchte in Deutschland von besonderem Interesse. Dabei sind neben trockenen Bodenfeuchteanomalien auch sehr



Tab. 7.3: Schematische Darstellung des „mesoscale Hydrologic Model" zur Berechnung der Bodenfeuchte. (Grafik: Luis Samaniego, Martin Schrön, UFZ)

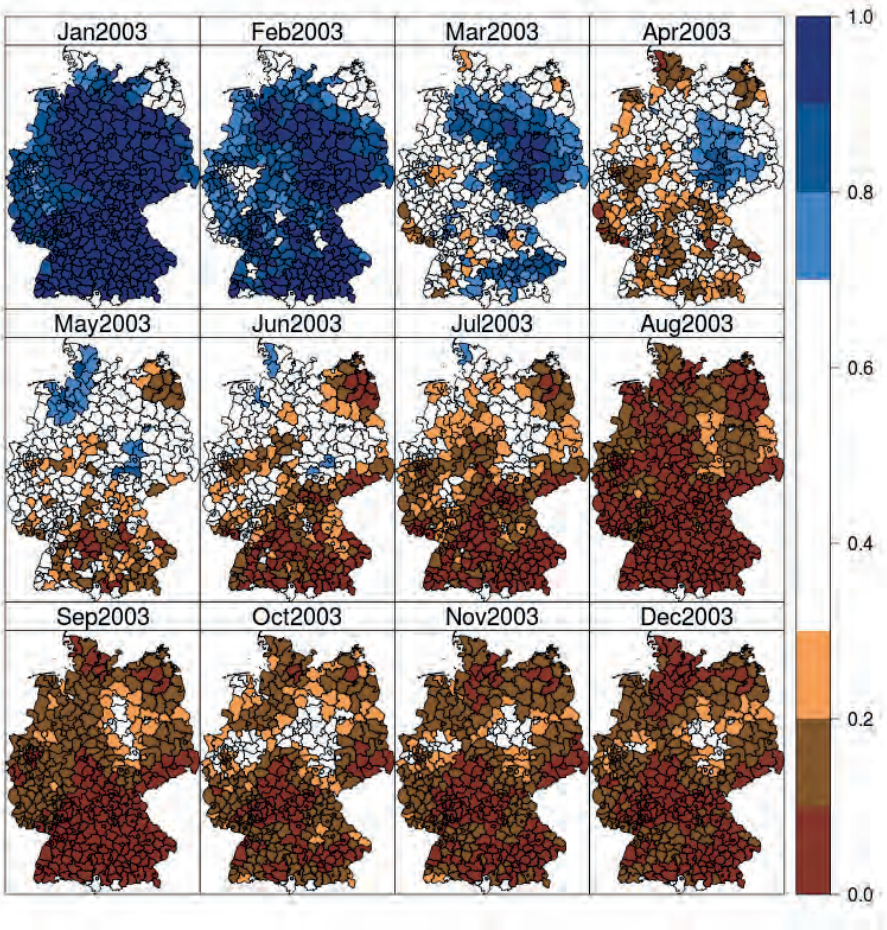


Abb. 7.4 : Monatliche Darstellung der Bodenfeuchteanomalien im zeitlichen Verlauf der landwirtschaftlichen Saison 2003. (Grafik: Michael Peichl, UFZ)

feuchte Anomalien in ihren Effekten auf den Ernteertrag von Feldfrüchten zu betrachten. Zur Untersuchung des kausalen Effekts zwischen trockenen und feuchten Bodenfeuchteanomalien und den Erträgen verschiedener Feldfrüchte in Deutschland werden empirisch informierte Ergebnisse für Winterweizen und Silomais für jeden Monat der landwirtschaftlichen Saison mit Hilfe von Regressionsmodellen (Reduced Form Panel Modell) geschätzt. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass in Deutschland der Anbau von Winterweizen schon sehr lange etabliert ist und mit einem Anteil von 50 Prozent der Gesamtproduktion eine der wichtigsten Feldfrüchte für die Grundversorgung darstellt. Darüber hinaus ist Silomais aufgrund seiner hohen Trockenmasseerträge von besonderer Relevanz, weil die Nachfrage nach Biomasse in Form von Silomais im Zuge der Energiewende deutlich gestiegen ist. Insofern beziehen sich die Schätzung und das ihm zugrundeliegende Modell auf diese beiden Fruchtsorten, die wiederum trockene und nasse Bodenfeuchteanomalien, Niederschlag, Temperatur sowie die potenzielle Evapotranspiration als erklärende Variablen umfassen. Durch die monatliche Betrachtung können im Gegensatz zu den üblichen aggregierten Ansätzen die Variationen der einzelnen Effekte über die Zeit analysiert werden, um so funktionelle Zusammenhänge von Bodenfeuchte (Abb. 7.4) und Fruchterträgen (Abb. 7.5) zu erklären sowie Anpassungs- oder Mitigationsmaßnahmen für die Landwirtschaft zu entwickeln. Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass in Deutschland auf Landkreisebene sowohl nasse als auch trockene Bodenfeuchteanomalien einen messbaren Effekt auf Ernteerträge von Winterweizen und Silomais haben. Jedoch unterscheidet sich für jede Feldfrucht – abhängig vom Monat – der Effekt nach Richtung und Größe.

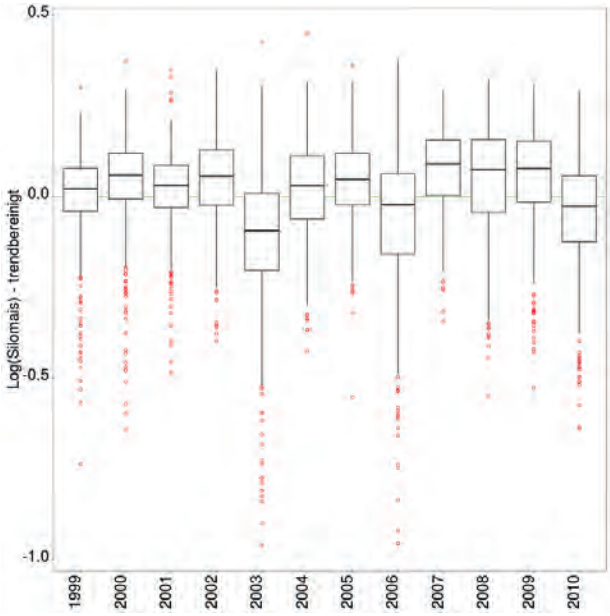


Abb. 7.5: Boxplots der jährlichen Verteilung der logarithmierten und trendbereinigten Silomaiserträge. (Grafik: Michael Peichl, UFZ)

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

8 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?

Wichtige Qualitätsmerkmale von Klimarekonstruktionen aus Proxydaten sind die Genauigkeit und Verlässlichkeit der daraus abgeleiteten Klimavariablen, wie z. B. Wasseroberflächentemperaturen (SST). Als Proxydaten werden indirekte Anzeiger (Stellvertreter) für Klimaveränderungen bezeichnet, aus denen Rückschlüsse auf das vergangene Klima gezogen werden können. Dies sind beispielsweise Eisbohrkerne, Baumringe, Pollen, Korallen, Sedimente aus Seen oder aus dem Ozean und viele andere Klimaarchive. Einer der bekanntesten und am besten untersuchten Temperaturproxies für die quantitative Rekonstruktion von SSTs ist der sogenannte Uk'_{37} Temperaturindex. Dieser organische Biomarker wird von marinen Algen (Coccolithophoriden) synthetisiert. Bislang wird davon ausgegangen, dass der Uk'_{37} Temperaturproxy die Jahresmitteltemperatur in etwa 10 m Wassertiefe widerspiegelt. Jedoch traten in den hohen Breiten zunehmend Diskrepanzen zwischen rekonstruierter Temperatur aus Oberflächensedimenten und tatsächlicher Jahresmitteltemperatur auf. Im Forschungsthema 8 haben wir uns daher der Frage angenommen, ob das aus Alkenonen abgeleitete Temperatursignal tatsächlich die heutigen lokalen Jahresmitteltemperaturen abbildet? Zudem untersuchten wir die Entwicklung der Wasseroberflächentemperaturen in verschiedenen Regionen des Nordpazifiks während der letzten 6000 Jahre. Welche Mechanismen und Prozesse lassen sich aus den regionalen Mustern ableiten?

Um diese Fragen zu beantworten und dem Problem auf den Grund zu gehen, haben wir einen umfangreichen Datensatz von Sedimentoberflächenbeprobungen (n=97) für den Bereich des subarktischen Nordpazifiks und seinen Randmeeren untersucht (Abb. 8.1). Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass die rekonstruierten Temperaturen in den subarktischen Breiten ein saisonales Signal abbilden und zwar den Spätsommer (Oktober). Diese Erkenntnis kommt nicht ganz überraschend, da die Hauptalgenblüte der Coccolithophoriden in den hohen Breiten zu dieser Jahreszeit stattfindet. Diese saisonale Abhängigkeit wurde durch aktuelle Studien an Sedimentfallen aus dem subarktischen Pazifik und der Beringsee für den Zeitraum der letzten 19 Jahre eindrucksvoll belegt (Tsutsui et al., 2016). Einerseits verbessert unsere Studie das Verständnis und die Interpretation dieses Proxies für die hohen Breiten, andererseits liefern unsere Daten eine wichtige Basis für zukünftige Vergleiche zwischen Proxy- und Modelldaten.

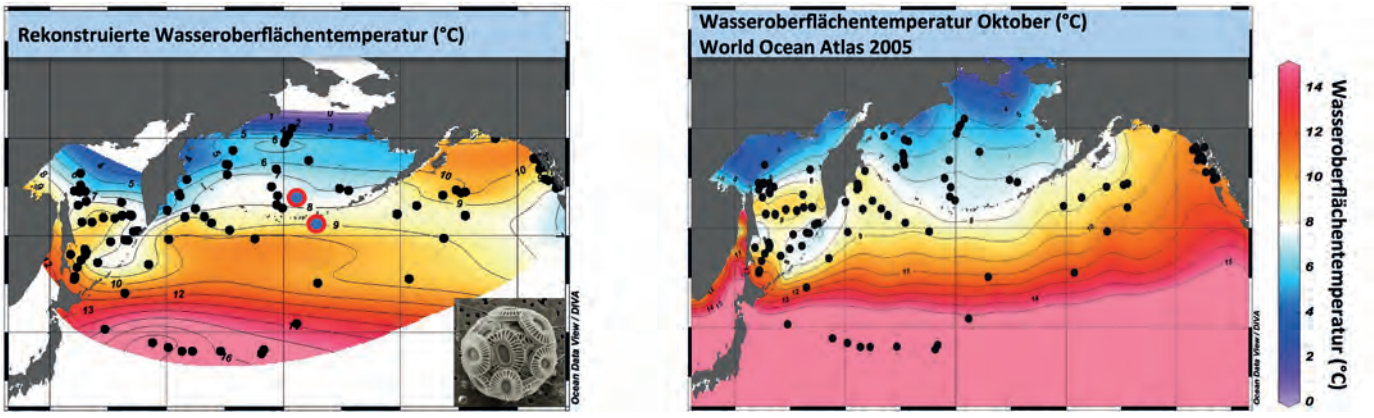


Abb. 8.1: (linke Abbildung) Rekonstruierte Wasseroberflächentemperaturen (Uk'_{37}) im nordpazifischen Raum anhand von Oberfächensedimenten. Die Position von Sedimentproben ist durch schwarze Punkte markiert, blaue Punkte zeigen die Lage von Sedimentfallen. (rechte Abbildung) Vergleich zu instrumentell gemessenen Wasseroberflächentemperaturen (World Ocean Atlas 2005) im Nordpazifik für den Monat Oktober. (Grafik: Lars Max, Ralf Tiedemann, AWI)

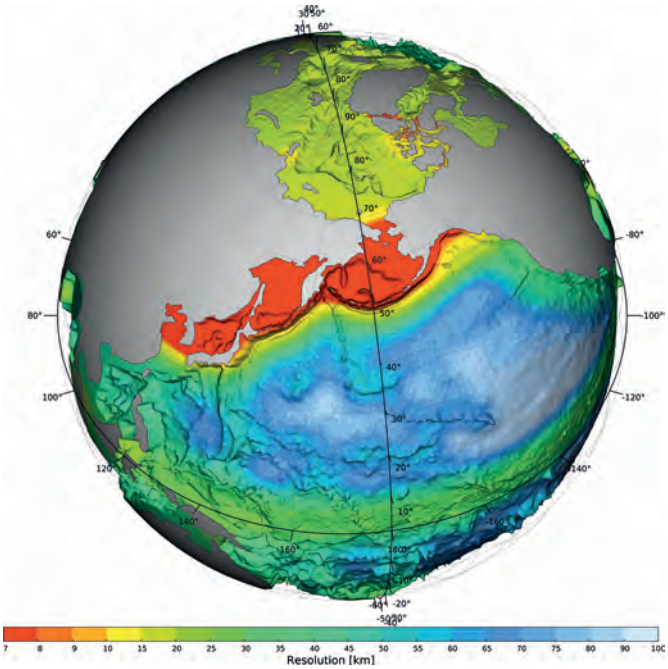


Abb. 8.2: Modellauflösung des Nord-Pazifischen Ozeans und der Arktis im Finite-Elemente Modell FESOM. Insbesondere die Verwendung von unstrukturierten Gittern ermöglicht eine räumlich variable Auflösung der Regionen, die von 7 km im Japanischen Meer, Ochotskischen Meer und Beringmeer bis hin zu 100 km im zentralen Nord-Pazifik reicht. (Grafik: Patrick Scholz, AWI)

In einer weiteren Studie haben wir die Temperaturentwicklung im Nordpazifik für den Zeitraum der letzten 6000 Jahre anhand von Proxydaten (Uk'_{37}) und Modellsimulationen mit dem Finite Element Sea Ice-Ocean Model (FESOM) rekonstruiert. Eine Stärke des FESOM-Modells ist die hohe horizontale Auflösung insbesondere im Küstenbereich, mit der Temperaturmuster auf regionalen Skalen besser erfasst werden (Abb. 8.2).

Im Fokus dieser Untersuchungen stand die Ermittlung der regionalen, langfristigen Temperaturtrends (Abb. 8.3). Die Abnahme in der Sonneneinstrahlung aufgrund der im Holozän leicht unterschiedlichen Erdbahnparameter beim Umlauf um die Sonne (insbesondere die Neigung der Erdrotationsachse) würde für einen Abkühlungstrend im Nordpazifik argumentieren. Jedoch weisen die Proxy-basierten Temperaturrekonstruktionen auf regional gegenläufige Temperaturtrends hin. Die Modellergebnisse (FESOM) zeigen ebenfalls ein regional heterogenes Muster von Temperaturtrends, dass mit den rekonstruierten Temperaturen harmoniert. Ein Abkühlungstrend kennzeichnet den zentralen Nordpazifik östlich von Japan und die See von Okhotsk. Dieser Abkühlungstrend ist von einem „hufeisenförmigen" Erwärmungstrend umgeben, der den nordöstlichen Pazifik und die Beringsee einschließt (Abb. 8.3). Überraschenderweise spiegelt dieses Muster die Temperaturverteilung der positiven Phase der sogenannten Pazifischen Dekadischen Oszillation (PDO) wider, welche durch kältere Temperaturen im zentralen östlichen Nordpazifik gekennzeichnet ist. Einerseits leiten wir daraus ab, dass der Trend hin zu einer positiven PDO-Phase über die letzten 6000 Jahre zugenommen hat. Andererseits weisen die Modellergebnisse auf komplexe ozeanisch-atmosphärische Telekonnektionen hin. Generell werden die Trends der positiven PDO-Phase mit einer Schwächung des Subtropenhochs, einer Zunahme des Aleutentiefs und einer Intensivierung des Ostasiatischen Jetstromes in Verbindung gebracht.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass rekonstruierte Wasseroberflächentemperaturen in den hohen Breiten basierend auf dem Uk'_{37} Temperaturproxy zwar nicht die Jahresmitteltemperatur jedoch sehr gut das saisonale Temperatursignal widerspiegeln. Zudem deutet unser Vergleich von Proxydaten und Modellergebnissen für den Zeitraum der letzten 6000 Jahre auf regional gegenläufige Temperaturtrends im Nordpazifik, welche wiederum auf komplexe ozeanisch-atmosphärische Telekonnektionen hinweisen.

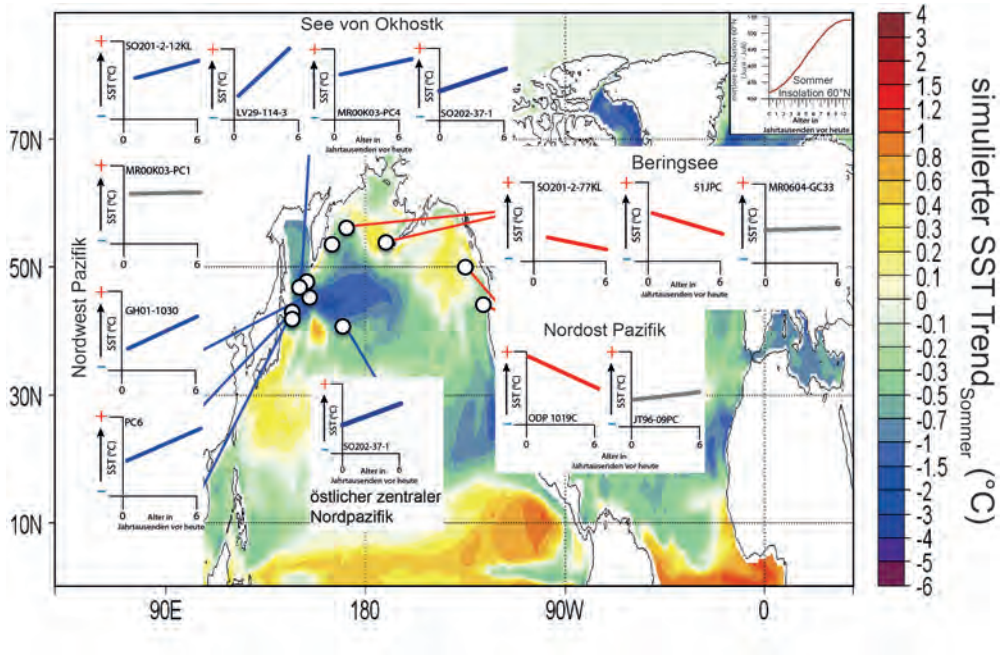
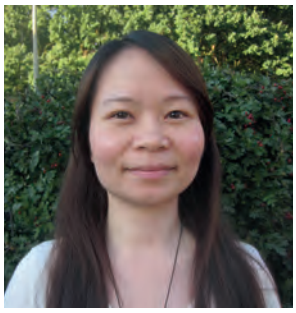


Abb. 8.3: Rekonstruierte Trends der Wasseroberflächentemperatur in verschiedenen Regionen des Nordpazifiks im Vergleich zu simulierter Temperaturentwicklung mit dem FESOM-Modell über den Zeitraum der letzten 6000 Jahre. (Grafik: Lars Max, Gerrit Lohmann, AWI)

NachwuchswissenschaftlerInnen im REKLIM-Verbund

Wer steht hinter dem Verbund? – „Wir geben REKLIM ein Gesicht“

Ha Ho-Hagemann (HZG)



Ha Ho-Hagemann studierte Meteorologie in dem Programm für begabte Studenten an der Hanoi National University in Vietnam, wo sie im Jahr 2008 promovierte. Nach der Promotion war sie Dozent und Forscher an der Hanoi University of Sciences. Seit August 2010 ist sie als Postdoc am Institut für Küstenforschung am Helmholtz-Zentrum Geesthacht. Dort arbeitet sie im Bereich der regionalen Atmosphäre-Ozean-Meereis-Kopplung für das **REKLIM Thema 1**. Die Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre ist ein wesentlicher Aspekt im Klimasystem, wird aber oft in regionalen Modellen nicht berücksichtigt, da viele Ozean-und Atmosphäremodelle unabhängig voneinander angewendet werden. Gekoppelte Atmosphäre-Ozean-Modellen ermöglichen die Berücksichtigung der Wechselwirkungen z.B. durch den Austausch von Wärme, Feuchte und Impuls an der Meeresoberfläche. Ha wendet erfolgreich die von ihr erstellten, gekoppelten Modellsysteme COSTRICE und CCLM/NEMO-Nordic auf den Nord- und Ostseebereich an. Zur Zeit untersucht sie den Mehrwert der Atmosphäre-Ozean-Kopplung dieser Modelle speziell bezüglich der Entstehung von Extremereignissen über Mitteleuropa mit Blick auf die Nutzung für Klimaänderungsszenarien über Europa.

Tirtha Banerjee (KIT)

Tirtha Banerjee ist Nachwuchswissenschaftler am KIT / IMK-IFU in Garmisch-Partenkirchen. Im Herbst 2015 schloss er seine Doktorarbeit über das Thema „Turbulenz in der natürlichen Umwelt“ an der Duke University, North Carolina, USA, ab. Er ist ein sehr produktiver Forscher, der mit Abschluss seiner Promotion bereits acht Peer-Review-Artikel auf seinem Konto hat und mit weiteren sieben im Begutachtungsverfahren oder kurz vor der Einreichung steht. In seinen Arbeiten in **REKLIM Thema 4** beschäftigt er sich damit, wie skalenübergreifende Wirbelaktivität die Wechselwirkungen zwischen Biosphäre und Atmosphäre beeinflusst. Tirtha Banerjee wurde in diesem Jahr mit der Mahatma Gandhi Pravasi Samman Medaille durch die Non-Resident Indians (NRI) Welfare Society of India ausgezeichnet. Er ist einer von 26 Indern weltweit, die in diesem Jahr für diesen Preis ausgewählt wurden, der die herausragenden Leistungen und Erfolge von Indern auf der internationalen Bühne würdigt. Banerjee wird seine Gandhi-Medaille am 30. September 2016 bei einer speziellen Zeremonie im House of Lords in London erhalten.

Katrin Kohnert (GFZ)

Katrin Kohnert studierte Geoökologie und Global Change Ecology an der Universität Bayreuth. Ihre Abschlussarbeiten beschäftigten sich mit mikrometeorologischen Fragestellungen. In ihrer Masterarbeit am Campus Alpin des Karlsruhe Institut für Technologie in Garmisch-Partenkirchen untersuchte sie Veränderungen in der atmosphärischen Grenzschichthöhe im Alpenvorland. Seit 2013 promoviert sie am Deutschen Geoforschungszentrum in Potsdam. Für ihre Doktorarbeit im Rahmen des **REKLIM Themas 3** beschäftigt sie sich mit Methanemissionen aus arktischen Permafrostböden. Ihre Forschungsdaten hat sie auf Messkampagnen in Nordalaska und Nordkanada vom Flugzeug aus erhoben. Mit der Eddy-Kovarianz Methode berechnet sie räumlich hochaufgelöste Methanflüsse über mehrere tausend Quadratkilometer große Flächen. Ihre Ergebnisse zeigen starke räumliche Unterschiede in der Höhe der Methanemissionen und ermöglichen auch Rückschlüsse auf unterschiedliche Methanquellen.

„An REKLIM gefällt mir besonders, dass Forschende institutsübergreifend zusammenarbeiten, um regionale Auswirkungen des Klimawandels besser zu verstehen“.

Martina Schubert-Frisius (HZG)

Schon in ihrer Studienzeit begeisterte sich Martina Schubert-Frisius für intensive Stürme mit hohem Zerstörungspotenzial an Mensch und Natur. Hohe Windgeschwindigkeiten und starke Niederschläge führen oftmals zu großen Schäden an Gebäuden und im Verkehrswesen sowie zu Landüberflutungen und Erdrutschen in den Bergen. In ihrer Diplomarbeit hat sie die Reaktion der Zyklonen-Zugbahnen über dem Nordatlantik im Hinblick auf einen möglichen Klimawandel untersucht. Im Rahmen des **REKLIM Themas 6** liegt der Schwerpunkt ihrer jetzigen Promotionsarbeit in der Analyse der atmosphärischen Prozesse bei der Umwandlung von tropischen Wirbelstürmen in synoptische Tiefdrucksysteme der mittleren Breiten. Hierfür wird ein zeitlich-räumlich hochaufgelöster Hindcast-Datensatz der vergangenen 70 Jahre verwendet, der mit einem globalen Klimamodell (ECHAM6) berechnet wurde. Wissenschaftliche Untersuchungen sollen nun zeigen, ob es aufgrund des bereits einsetzenden Klimawandels einen Trend zu stärkeren Stürmen gibt, die unter anderem auch zu mehr Extrem-Ereignissen in Europa führen.

„In meinen Augen zeichnet sich der REKLIM-Verbund durch seine große Themenvielfalt aus. Von der Präsentation und dem Austausch aktueller Forschungsergebnisse, die von den teilnehmenden Instituten ausgehen, können wir alle nur profitieren“.

Jennifer Schröter (KIT)

Jennifer Schröter hat Physik an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn studiert und ihr Studium mit Auszeichnung abgeschlossen. Seit 2013 promoviert sie am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) im Department Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung (ASF) des Karlsruher Instituts für Technologie. Sie arbeitet in der Gruppe von Dr. Roland Ruhnke (Globale Modellierung, IMK-ASF) und mit Professor Dr. Peter Braesicke (Abteilungsleiter Modellierung, IMK-ASF). Seit 2014 ist sie Entwicklerin des Chemie-Moduls ART (Aerosole und Reaktive Spurengase) im neuen globalen Modellsystem ICON-ART, das am KIT entwickelt wird. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit den Entwicklern des atmosphärischen Wettervorhersage und Klima Modells ICON (icosahedrisches nicht-hydrostatisches Modell) vom Deutschen Wetterdienst und des Max-Planck Instituts für Meteorologie. ICON wird nicht nur zur täglichen Wettervorhersage operationell genutzt, sondern auch für Klimaprojektionen.

*„Diese enge Zusammenarbeit stellt einen großen wissenschaftlichen Vorteil dar und die Arbeit mit ICON-ART bettet sich gut in das Arbeitskonzept des **Themenbereichs 5 in REKLIM** ein. Für die spätere wissenschaftliche Untersuchung klimarelevanter Einflüsse auf der globalen wie regionalen Skala ist es von großer Bedeutung, grundlegende Prozesse besser zu verstehen und realistisch zu simulieren".*

Mengchu Tao (FZJ)

Mengchu Tao absolvierte das Physikstudium (Master in Atmospheric Science) an der Nanjing Universität in China. Nach Ihrem Studium ging sie nach Peking (Beijing), wo sie sich am Institut für Physik der Atmosphäre (IAP) mit sogenannten „plötzlichen Stratosphärenerwärmungen" (englisch: Sudden Stratospheric Warmings, SSWs) beschäftigte. SSWs sind plötzliche Temperaturänderungen in der polaren Stratosphäre, die man hauptsächlich im Winter auf der Nordhemisphäre beobachtet. Mengchu Tao setzte diese Arbeit im Rahmen ihrer Doktorarbeit **(REKLIM Thema 5)** fort, die sie am Institut für Energie- und Klimaforschung (Stratosphäre, IEK-7) im Forschungszentrum Jülich anfertigte. Der Hauptfokus lag dabei in der Bestimmung des Einflusses der SSWs auf den Transport von klimarelevanten Gasen wie Wasserdampf in die Stratosphäre. Sie verteidigte ihre Arbeit im März 2016.

„Unsere Studien zeigen, dass natürliche atmosphärische Variabilität auf verschiedenen Skalen, wie solche infolge der plötzlichen Stratosphärenerwärmungen, wesentlich zur Langzeit-Variabilität des stratosphärischen Wasserdampfes beiträgt."

Martin Rückamp (AWI)

Martin Rückamp ist studierter Geophysiker und hat während seiner Diplomarbeit und der anschließenden Promotion an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster den Weg Richtung Polarforschung eingeschlagen. Basierten die Diplomarbeit und Doktorarbeit sowohl auf der Anwendung von geophysikalischen Methoden im Feld zur Messung glaziologischer Parameter, als auch der numerischen Modellierung von eisdynamischen Prozessen, befasst sich Martin Rückamp im **REKLIM Thema 2** mit der numerischen Modellierung des Grönländischen Eisschildes. Mit Hilfe eines Finite Elemente Modells und unstrukturierter Gitter soll unter geeigneten Klimaszenarien die zukünftige Massenbilanz und damit der Beitrag des Eisschildes zum Meeresspiegelanstieg quantifiziert werden.

"An REKLIM fasziniert mich der interdisziplinäre Austausch sowie die eigene Arbeit in einem breiteren Kontext zu sehen."

David Piper (KIT)

Seine Begeisterung für meteorologische Naturgefahren entdeckte David Piper bereits während seines Studiums an der LMU München, das er mit einer Diplomarbeit über Starkwindereignisse am Bodensee abschloss. Nach mehrjähriger Tätigkeit in der Lehre am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) forscht er dort seit 2014 im Rahmen seiner Promotion im **REKLIM Thema 6** über die Ursachen der hohen raumzeitlichen Variabilität der Gewittertätigkeit in Europa. Neben der Diskussion markanter orographischer Effekte liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der Frage, weshalb die konvektive Aktivität in vielen Gebieten ein nahezu entkoppeltes zeitliches Verhalten aufweist und welche atmosphärischen Parameter diese Variabilität maßgeblich bestimmen. Darüber hinaus wird versucht, den regional unterschiedlichen Einfluss großskaliger Zirkulationsmuster und atmosphärischer Telekonnektionen auf das Auftreten konvektionsförderlicher Bedingungen zu quantifizieren.

„Den regelmäßigen interdisziplinären Erfahrungsaustausch im Rahmen der thematisch gut zusammengestellten und inhaltlich bereichernden internen REKLIM-Konferenzen empfinde ich als sehr gewinnbringend für meine wissenschaftliche Arbeit."

Michael Peichl (UFZ)

Michael Peichl studierte Volkswirtschaftslehre an den Universitäten Mannheim und Heidelberg und der University of Oregon. Schon während des Studiums entwickelte er großes Interesse für das Thema Klimawandel und dessen Auswirkungen. In seiner Abschlussarbeit beschäftigte er sich mit der monetären Bewertung von extremen Stürmen, für die er herkömmliche ökonomische Bewertungsmethoden mit Ansätzen alternativer Nutzenkonzepte der Lebenszufriedenheit verglichen hat. Seit Februar 2013 promoviert er im Integrierten Projekt Wasserknappheit am UFZ in Leipzig. Im Rahmen seiner Dissertation in **REKLIM Thema 7** untersucht er mit Hilfe von ökonometrischen und statistischen Modellen den Zusammenhang von simulierter Bodenfeuchte und Feldfruchterträgen in Deutschland. Die interdisziplinär ausgerichtete Forschung leistet einen Beitrag zur zielgerichteten Entwicklung von Anpassungsoptionen an den Klimawandel im Agrarbereich.

„An REKLIM reizt mich, dass es eine Plattform für den wissenschaftlichen Austausch sowohl zwischen den Disziplinen als auch über die Institute hinweg bietet. Dadurch kann ich mir ein besseres Verständnis für die komplexen Sachverhalte der Auswirkungen des Klimawandels aneignen."

Helene Hoffmann (Universität Heidelberg)

Helene Hoffmann studierte in Göttingen und Heidelberg Physik und promovierte über die Entwicklung einer Methode zur ^{14}C-Datierung von alpinen Eisbohrkernen. Alpine Gletscher sind wertvolle regionale Klimaarchive für Mitteleuropa. Durch die kleinskalige Geometrie und das komplexe Fließverhalten stellt die Datierung solcher Eisbohrkerne allerdings eine große Herausforderung dar, die nur im Zusammenspiel verschiedener Methoden gelingen kann. Innerhalb von **REKLIM** arbeitete sie zunächst als Doktorandin und aktuell als PostDoc am Institut für Umweltphysik in Heidelberg. Im Rahmen des **Themas 8** ist sie an der Erstellung einer Chronologie für einen Eisbohrkern von Colle Gnifetti (Schweizer Alpen) beteiligt. Auf Basis einer robusten Datierung soll dieser Kern in Kombination mit anderen mitteleuropäischen Klimaarchiven wertvolle Erkenntnisse über die Klimageschichte des Holozäns in Mitteleuropa liefern.

„Das Projekt REKLIM finde ich vor allem deshalb spannend, da man sehr unkompliziert mit Wissenschaftlern anderer Fachrichtungen ins Gespräch kommt und sich so auch unkonventionelle Gelegenheiten zur Zusammenarbeit ergeben."

REKLIM goes public

Beispiele für Wissenstransfer und Dialogprozesse

REKLIM-Forschungsverbund auf Umweltwoche des Bundespräsidenten in Berlin

Auf Einladung von Bundespräsident Joachim Gauck und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) trafen sich am 7. und 8. Juni 2016 rund 13.000 Besucher, Mitwirkende und Aussteller zur „Woche der Umwelt 2016“. Bereits zum fünften Mal fand die Umwelt-Schau am Amtssitz des Bundespräsidenten im Park von Schloss Bellevue statt. Das Kernstück bildete die rund 4.000 Quadratmeter große Ausstellung, auf der sich fast 200 ausgewählte Aussteller mit ihren Projekten zu den Fachthemen Klimaschutz und Energie, Ressourcenschonung, Boden und Biodiversität, Mobilität und Verkehr, Bauen und Wohnen sowie Bildung und Kommunikation präsentierten. Aus über 600 Bewerbungen wählte eine durch das Bundespräsidialamt berufene Jury die besten und innovativsten Projekte aus.

Unter dem Titel „Wissenschaft und Gesellschaft im Dialog“ präsentierte REKLIM an seinem Stand ausgewählte Praxisbeispiele, in denen der Forschungsverbund sich den neuen Herausforderungen der Wissenschaft im Bereich des Wissenstransfers stellt und damit innovative Wege im Dialogprozess mit der Gesellschaft geht. Dazu gehörten u.a. der Dürre- und Klimamonitor sowie die Wissensplattform meereisportal.de, die 2015 von der Initiative „Land der Ideen“ ausgezeichnet worden ist. Außerdem wurden gemeinsam mit der DEKRA Hochschule für Medien in Berlin Dokumentarfilme zu ausgewählten Forschungsthemen des Verbundes gezeigt, die im Rahmen eines gemeinsamen interdisziplinären Medienprojektes entstanden sind. Zu sehen waren weiterhin eine Rauminstallation und Zeichnungen zum Thema Permafrost, die von Schülerinnen und Schülern der Stadtteilschule Hamburg-Wilhelmsburg im Rahmen des Kooperationsprojektes Maritimes Zentrum Elbinseln für die internationale Permafrostkonferenz 2016 in Potsdam angefertigt wurden. Eine Broschüre zu den Projekten ist unter http://www.reklim.de/aktuelles-und-aktivitaeten/reklim-veranstaltungen/woche-der-umwelt/ zu finden.

REKLIM nutzte erfolgreich diese wichtige Plattform des Austauschs und der Diskussion mit Besucherinnen und Besuchern aus Forschung, Wirtschaft, Politik, Medien und Zivilgesellschaft. Das durchweg positive Feedback zeigte gleichzeitig auch die Wichtigkeit und Bedeutung dieser Schnittstellenarbeit für die zukünftige Arbeit des Verbundes.

REKLIM-DEKRA Social Media Projekt auf der Internationalen Permafrost Konferenz 2016 in Potsdam

Vom 20. bis 24. Juni 2016 fand in Potsdam die 11. Internationale Permafrost-Konferenz mit mehr als 700 Wissenschaftlerinnen aus über 40 Nationen statt.

Das für diese Konferenz konzipierte Social Media Projekt zwischen der DEKRA Hochschule für Medien in Berlin und dem REKLIM-Forschungsverbund zielte auf eine innovative Kooperation zwischen Wissenschaft und jungen Studierenden aus dem Bereich Medienwissenschaften ab. Die Helmholtz-Klimainitiative REKLIM und die DEKRA Hochschule für Medien haben sich bereits seit 2013 gemeinsam auf den Weg gemacht, den Prozess der Auseinandersetzung und der Bewusstseinsbildung für die Bedeutung dieses Themas für junge Menschen in gemeinsamen interdisziplinären Projekten anzustoßen. Anknüpfungspunkt für dieses innovative Projekt war der Forschungsschwerpunkt des Themas 3 von REKLIM, der sich mit regionalen Klimaänderungen in der Arktis und seinen Permafrostregionen beschäftigt.

Die jungen Menschen heute sind diejenigen, die in Zukunft von den Folgen der Klimaveränderungen besonders stark betroffen sein werden. Sie sind aber auch gleichzeitig gefordert zu erkennen, dass wir andere Lebensstile finden und Vermeidungs- und Anpassungsstrategien jetzt auf den Weg bringen müssen, da diese Maßnahmen nur sehr langfristig wirken. Es liegt noch zu wenig im Erfahrungs- und Erlebenshorizont vieler junger Menschen, Maßnahmen zu Klimaschutz und –anpassung als wichtige Bausteine für die eigene Zukunft zu begreifen und aktiv als Thema anzunehmen. Daher bedarf es einer frühen und intensiven Auseinandersetzung mit dieser gesellschaftlichen Herausforderung als Teil der eigenen Lebenswirklichkeit. Zielgruppe des Social Media Projektes war die heranwachsende Generation im Ausbildungsalter (16-30 Jahre).

In Interviews, Hintergrundberichten, Fotostrecken und „Best of Day“ Videos begleiteten rund 25 Studierende aus unterschiedlichen Fachrichtungen der Medienwissenschaften, unterstützt von Medienprofis, eine Woche lang die Konferenz. Sie nutzen verschiedene Social Media Kanäle wie Facebook und Twitter sowie eine eigene Webseite (https://www.facebook.com/thechickentheoryicop/ oder https://thechickentheory.de/), um der Öffentlichkeit Informationen über die aktuellen Ergebnisse der Permafrostforschung von der Konferenz zur Verfügung zu stellen. Die Forschung um das Thema Permafrost kann hierdurch für die junge Öffentlichkeit greifbarer und verständlicher gemacht werden. REKLIM liefert mit diesem Social Media Projekt einen wichtigen Beitrag, um junge Menschen zur Auseinandersetzung mit dem Thema Permafrost und zur Bewusstseinsbildung für die Bedeutung der regionalen Klimaänderungen anzuregen und somit eine Verbindung zwischen den wissenschaftlichen Arbeiten und einer breiten Öffentlichkeit zu ermöglichen.

Dr. Klaus Grosfeld (AWI), Klaus.Grosfeld@awi.de | Dr. Renate Treffeisen (AWI), Renate.Treffeisen@awi.de

AWI | HZG | KIT | UFZ

Die regionalen Klimabüros in der Helmholtz-Gemeinschaft

Klimaberatung: regional spezifisch, verständlich, solide

Klimabüro für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg
(Kooperationsprojekt Maritimes Zentrum Elbinseln)

Ein wichtiges Projekt im Bereich des Wissenstransfers ist das seit 2012 gemeinsam mit dem Internationalen Maritimen Museum Hamburg unterstützte Schulprojekt „Maritimes Zentrum Elbinseln“ (MZE) an der Stadtteilschule Wilhelmsburg. Es bietet den Schülerinnen und Schülern eine praxisorientierte Bildung rund um maritime Themen, um ihre Chancen für den Berufseinstieg nachhaltig zu verbessern. Die Bandbreite der Angebote reicht dabei von kleineren Projekten, wie dem „Polarsterntag“, über die die ganze Schule einbindende „Maritime Projektwoche“ bis hin zu maritim orientierten Profilklassen oder „Lernferien für Kinder“. Ziel des Projektes ist es, den Schülerinnen und Schülern Wege zu eröffnen, um neue Ziele und Perspektiven für ihr Leben zu entdecken. Nach vier Jahren erfolgreicher Projektarbeit ist das MZE mittlerweile fest im Stadtteil verankert. Im Rahmen des im Herbst 2016 beginnenden Schulneubaus wird es außerdem eigene Räume erhalten. Die Bildungserfolge sind eindrucksvoll: 30 % der Zehntklässler können direkt in eine Ausbildung gehen, während es vor Projektbeginn 8 % waren.

Das Projekt erhielt für seinen Vorbildcharakter, seine Nachhaltigkeit sowie die gute Netzwerkarbeit und das Engagement im Bereich eines sozialen Brennpunkts mehrere Auszeichnungen: Am 10. November 2015 in Düsseldorf den mit 15.000 Euro dotierten 1. Preis des DEICHMANN-Förderpreises für Integration in der Kategorie „Schulische Präventivmaßnahmen“; im neunten Wettbewerb zum Preis „Soziale Stadt“ den Sonderpreis des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorschutz (BMUB) am 22. Juni 2016 in Berlin und im Rahmen der Initiative „Land der Ideen“ zum Jahresthema 2016 „Nachbar*schafft*Innovation – Gemeinschaft als Erfolgsmodell“ einen Preis für eine überzeugende Antwort auf die Frage, wie gemeinschaftliches Handeln innovative Lösungen für Herausforderungen von morgen bieten kann.

Weitere Informationen: www.maritmes-zentrum-elbinseln.de

Norddeutsches Klimabüro
(Stakeholderdialoge an der Ostseeküste)

Seit 2014 ist das Norddeutsche Klimabüro am Helmholtz-Zentrum Geesthacht Partner im EU-Projekt EUCLEIA. Ziel des Projektes ist es herauszufinden, in welchem Maße sich vergangene Extremwetterereignisse durch den menschlichen Klimawandel verändert haben. Das Norddeutsche Klimabüro trägt in diesem Kontext dazu bei, potentielle Anwendungsfelder zu identifizieren und deren Anforderungen an einen potentiellen „Extreme Event-Attribution Service“ zu erheben.

In einer empirischen Fallstudie zu Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste wurden regionale Entscheider in Behörden, Vertreter der Versicherungswirtschaft, Wissenschaftler, Medien, sowie die breite Öffentlichkeit berücksichtigt. Dazu wurden Interviews, Workshops, Umfragen und Analysen von Medienberichterstattungen durchgeführt.

Dabei hat sich vor allem gezeigt, wie vielfältig und verschieden die Erwartungen unterschiedlicher potentieller Nutzergruppen sind. Regionale Entscheider und die Öffentlichkeit erwarten häufig, dass sie verständliche Informationen mit regionalem

Abb. K1: Das Koordinatoren-Team des Maritimen Zentrums Elbinseln und die Wettbewerbsinitiatoren bei der Preisverleihung „Soziale Stadt“ am 22. Juni 2016 in Berlin. (Foto: Tina Merkau)

Abb. K2: Molenfeuer Warnemünde. (Foto: Marcus Reckermann)

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

Bezug und daraus abgeleitete Handlungsempfehlungen aus der Wissenschaft erhalten; die Versicherungswirtschaft ist meist interessiert an einem operationellen Service, der Ergebnisse liefert, die ihre Qualitätsstandards erfüllen und bestehende Zielsetzungen unterstützen. Klimawissenschaftler hingegen fühlen sich zumeist nicht dafür verantwortlich, diese Anforderungen zu erfüllen. Für sie ist es wichtig, innovative und solide wissenschaftliche Ergebnisse (nicht unbedingt Handlungsempfehlungen) zu veröffentlichen, die dann neutral vermittelt werden.

Neben den spezifischen Fragestellungen zu Extrem-Event Attribution wurde auch die Bedeutung von und Anforderungen an regionale Klimaservices hervorgehoben. Methoden für eine nutzerorientierte Bewertung von Klimainformationen und -services konnten aufgezeigt und zentrale Kriterien hierfür identifiziert werden. Dabei hat sich insbesondere gezeigt, dass ein unabhängiger internationaler Service für ein einzelnes neuartiges Themenfeld wie Extreme Event Attribution von den hier berücksichtigten Akteuren wenig genutzt werden würde. Viel wichtiger sei es, solche Ergebnisse in etablierte und langfristig bestehende regionale Klimaservices einzubinden.

Mitteldeutsches Klimabüro
(Wasserinformationssystem für den Wissenstransfer)

Am Mitteldeutschen Klimabüro am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung wurde im letzten Jahr die Expertise in dialogbasiertem Wissenstransfer und der Web-Produktentwicklung verknüpft. Im Projekt EDgE (End-to-end Demonstrator for improved decision making in the water sector in Europe) wird ein hochaufgelöstes, europaweites Wasserinformationssystem aufgebaut. Dazu wird u.a. die Erfahrung mit dem Deutschen Dürremonitor genutzt. Das Klimabüro ist in die Stakeholderbefragung eingebunden und fungiert zusätzlich als Bindeglied zwischen dem Bedarf der Praxispartner und den Wissenschaftlern, die Indikatoren und eine online-Plattform entwickeln. Das Produkt wird als Baustein in die europäische Daten- und Informationsplattform C3S (Copernicus Climate Change Service) am Europäischen Zentrum für Mittelfristwettervorhersage (ECMWF) integriert.

Abb. K3: In einer Fallstudie im Projekt EDgE sind Betreiber von Wasserkraftanlagen an der Glomma, des größten Flusses Norwegens, eingebunden. Ungefähr 10 % des gesamten Stroms Norwegens wird hier mit Wasserkraft erzeugt. (Quelle: Andreas Marx, UFZ)

Süddeutsches Klimabüro
(Klimakenngrößen als Hilfsmittel für die Klimaanpassung)

Die in den Regionen Deutschlands bereits spürbaren Folgen des Klimawandels machen die Nutzung aktueller wissenschaftlicher Ergebnisse in Politik und Verwaltung immer wichtiger. Um Entscheidungsträger in Baden-Württemberg einen Einstieg in die Nutzung von Ergebnissen regionaler Klimasimulationen zu bieten, war das Ziel eines Projektes des Süddeutschen Klimabüros am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Stadtverwaltungen und Fachexperten in ganz Baden-Württemberg zur Bedeutung des Klimawandels für ihr alltägliches Handeln zu befragen sowie darüber, welche Änderungen des Klimas Anpassungsmaßnahmen notwendig machen könnten. Die Antworten in diesem vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderten Projekt wurden mit Hilfe der Beteiligten in sogenannte Klimakenngrößen übersetzt. Neben bekannten Größen wie „heiße Tage“ (Tage mit einer Temperatur von mindestens 30 °C) und „Tage mit Starkniederschlag“ (Tage mit mehr als 25 bzw. 40 mm Niederschlag), wurden beispielsweise Wetterbedingungen, an denen der Winterdienst ausrücken muss, die Häufigkeit von heißen, trockenen Sommern und die Zahl von regnerischen Wintertagen als wichtig für Anpassungsmaßnahmen beim Winterdienst, in der Stadtplanung und im Tourismus genannt. Die zukünftige Entwicklung der Klimakenngrößen wurde mit Klimasimulationen berechnet und den Experten zur Verfügung gestellt. Dies ermöglichte eine direkte Kopplung von wissenschaftlichen Ergebnissen an die vorhandene Erfahrung in verschiedenen Handlungsfeldern. Eine Auswahl der ca. 50 auf diese Weise ermittelten Klimakenngrößen wurde in einer Broschüre zusammengestellt und u. a. über den Städtetag Baden-Württemberg verteilt.

Weitere Informationen und Broschüre:

http://www.sueddeutsches-klimabuero.de/klimawandelanpassung.php

Abb. K4: Klimawandelanpassung stellt für Städte eine wichtige Herausforderung dar. (Foto: Hans Schipper)

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:

Beck, I., S. Jochner, S. Gilles, M. McIntyre, J.T. Buters, C. Schmidt-Weber, H. Behrendt, J. Ring, A. Menzel and C. Traidl-Hoffmann (2013): High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. PLoS One, 8(11),e80147, doi: 10.1371/journal.pone.0080147.

Bindschadler, R., and 27 co-authors (2013): Ice-sheet model sensitivities to environmental forcing and their use in projecting future sea level (The SeaRISE Project). J. Glaciol. 50, 195–224, doi:10.3189/2013JoG12J125.

Biskaborn, B. K., J. P. Lanckman, H. Lantuit, K. Elger, S. Dmitry, C. William, and R. Vladimir (2015): The new database of the Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P). Earth System Science Data, 7, 245-259.

COPA-COGECA (2003): Assessment of the impact of the heat wave and drought of the summer 2003 on agriculture and forestry. Comm. Agric. Organ. Eur. Union Gen. Comm. Agric. Coop. Eur. Union, Brussels, p. 15.

Blasch, G., D. Spengler, C. Hohmann, C. Neumann, S. Itzerott and H. Kaufmann (2015a): Multitemporal soil pattern analysis with multispectral remote sensing data at the field-scale. Computers and Electronics in Agriculture, 113, 1-13.

Blasch, G., D. Spengler, S. Itzerott and G. Wessolek (2015b): Organic matter modeling at the landscape scale based on multitemporal soil pattern analysis using RapidEye data. Remote Sensing, 7(9), 11125-11150.

Döring, M. and B.M.W. Ratter (2015): Heimat as a boundary object? Exploring the potentialities of a boundary object to instigate productive science-stakeholder interaction in North Frisia (Germany). Environmental Science & Policy, 54, 448-455, doi:10.1016/j.envsci.2015.08.009.

Dvornikov, Y., M. Leibmann, B. Heim, A. Bartsch, A., Haas, A., Khomutov, A., Gubarkov, M. M. Mikhaylova, W. B. Damir, F. Skorospekhova and I. Federova, I. (2016a): Geodatabase and WebGIS project for long-term permafrost monitoring at the Vaskiny Dachi research station, Yamal, Russia. Polarforschung 85(2), 107-115, doi:10.2312/polfor.2016.007.

Dvornikov, Y., B. Heim, S. Roessler, M. O. Leibman, A. Khomutov, and A., Bartsch (2016b): Colored dissolved organic matter (cDOM) absorption measurements in the Vaskiny Dachi region, Central Yamal, Russia. Institute of the Earth Cryosphere of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen, doi:10.1594/PANGAEA.860049, data publication.

Elbern, H. A. Strunk, H. Schmidt and O. Talagrand (2007): Emission rate and chemical state estimation by 4-dimensional variational inversion. Atmospheric chemistry and physics 7, 3749 – 3769.

Elger, K., B. Biskaborn, H. Pampel, and H. Lantuit (2016): Open research data, data portals and data publication – an introduction to the data curation landscape. Polarforschung 85(2), 119-133, doi:10.2312/polfor.2016.009.

Haas, A. B. Heim, S. Zubrzycki, K. Elger, C. Schäfer-Neth, A. Morgenstern and I. Fedorovaa (2016): Assembly of the CarboPerm WebGIS for the Laptev Sea Region, Arctic Siberia – data visualisation as a WebGIS Service. Polarforschung 85(2), 135-141, doi:10.2312/polfor.2016.010.

Kizyakov A. I., A. V. Sonyushkin, M. O. Leibman, M. V. Zimin and A. V. Khomutov (2015): Geomorphological conditions of Central Yamal gas blowout crater formation and its shape dynamics. Earth cryolithosphere, 19(2), 15-25.

Kumar, R., J. L. Musuuza, A. F. Van Loon, A. J. Teuling, R. Barthel, J. Ten Broek, J. Mai, L. Samaniego and S. Attinger (2016): Multiscale evaluation of the Standardized Precipitation Index as a groundwater drought indicator. Hydrol. Earth Syst. Sci., 20, 1117-1131, doi:10.5194/hess-20-1117-2016.

Kunz-Plapp, T., J. Hackenbruch and J.W. Schipper (2016): Factors of subjective heat stress of urban citizens in contexts of everyday life. Natural Hazards and Earth Systems Sciences, 16, 977-994, doi:10.5194/nhess-16-977-2016.

Kurtz, W., G. He, S. J. Kollet, R. M. Maxwell, H. Vereecken and H.-J. Hendricks Franssen (2016): TerrSysMP-PDAF (version 1.0): a modular high-performance data assimilation framework for an integrated land surface-subsurface model. Geoscientific Model Development 9 (4), 1341-1360, doi: 10.5194/gmd-9-1341-2016.

Larour, E., H. Seroussi, M. Morlighem and E. Rignot (2012): Continental scale, high order, high spatial resolution, ice sheet modeling using the Ice Sheet System Model (ISSM). J. Geophys. Res., 117, F01022, doi:10.1029/2011JF002140

Leibman, M.O. and A. V. Plekhanov (2014): The Yamal gas emission crater: results of preliminary survey. KholodOK, No. 2 (12), 9–15.

Nerger, L. and Hiller, W. (2013): Software for ensemble-based data assimilation systems – implementation strategies and scalability. Comput. Geosci., 55, 110–118, doi:10.1016/j.cageo.2012.03.026.

Obu, J., H. Lantuit, I. Myers-Smith, B. Heim, J. Wolter and M. Fritz (2015): Effect of terrain characteristics on soil organic carbon and total nitrogen stocks in soils of Herschel Island, Western Canadian Arctic. Permafrost and Periglacial Processes, doi:10.1002/ppp.1881.

Rieger, D., M. Bangert, I. Bischoff-Gauss, J. Förstner, K. Lundgren, D. Reinert, J. Schröter, H. Vogel, G. Zängl, R. Ruhnke and B. Vogel, B. (2015): ICON-ART 1.0 - a new online-coupled model system from the global to regional scale. Geosci. Model Dev. 8, 1659-1676, doi:10.5194/gmd-8-1659-2015.

Sachs, T., M. Langer, L. Schirrmeister and D.,Thannheiser (2012): Permafrost in den arktischen und subarktischen Tiefländern (Permafrost in arctic and subarctic lowlands). Polarforschung, 81, 1, 23-32, hdl:10013/epic.39226.d001.

Schneider von Deimling, T., G. Grosse, J. Strauss, L. Schirrmeister, A. Morgenstern, S. Schaphoff, M. Meinshausen and J., Boike (2015): Observation-based modelling of permafrost carbon fluxes with accounting for deep carbon deposits and thermokarst activity. Biogeosciences, 12, 3469-3488.

Schubert-Frisius, M., F. Feser, H. von Storch and S. Rast (2016): Application of dynamical downscaling on global scale to achieve long-term high-resolution climate reconstruction. Monthly Weather Review, aktuell im Begutachtungsprozess.

Shrestha, P., M. Sulis, M., Masbou, S. Kollet and C. Simmer(2014): A scale-consistent terrestrial systems modeling platform based on COSMO, CLM, and ParFlow. Mon. Weather Rev., 142, 3466–3483, doi:10.1175/mwr-d-14-00029.1.

Strauss, J., L. Schirrmeister, K. Mangelsdorf, L. Eichhorn, S. Wetterich and U. Herzschuh (2015): Organic-matter quality of deep permafrost carbon – a study from Arctic Siberia. Biogeosciences, 12, 2227-2245.

Tsutsui, H., K. Takahashi, H. Asahi, R. W. Jordan, S. Nishida, N. Nishiwaki and S. Yamamoto (2016): Nineteen-year time-series sediment trap study of Coccolithus pelagicus and Emiliania huxleyi (calcareous nannoplankton) fluxes in the Bering Sea and subarctic Pacific Ocean. Deep-Sea Res. Part II-Top. Stud. Oceanogr., 125, 227-239.

Volosciuk, C., D. Maraun, V.A. Semenov, N. Tilinina, S.K. Gulev, and M. Latif (2016): Rising Mediterranean Sea Surface Temperatures Amplify Extreme Summer Precipitation in Central Europe. Scientific Reports, aktuell im Begutachtungsprozess.

Beitragende Autorinnen und Autoren:

Thema 1: H. Matthes, A. Rinke und A. Sommerfeld (alle AWI-Potsdam), H. Ho-Hagemann und B. Rockel (beide HZG), D. Rieger und B. Vogel (beide KIT)

Thema 2: K. Grosfeld, M. Rückamp, I. Sasgen (alle AWI), K. Woth (HZG)

Thema 3: B. Heim (AWI), T. Sachs (GFZ), Y. Dvornikov (Earth Cryosphere Institute Tyumen, Moskau)

Thema 4: A. Marx (UFZ), H.-J. Hendricks Franssen (FZJ), Daniel Spengler, Sibylle Itzerott (GFZ)

Thema 5: P. Braesicke, S. Emeis, R. Kuhnke, J. Schröter (alle KIT), H. Elbern, M. Tao, P. Konopka, R. Müller (alle FZJ), C. Traidl-Hoffmann (TUM)

Thema 6: D. Piper, M. Kunz (beide KIT), F. Feser, M. Schubert-Frisius (beide HZG), M. Latif (GEOMAR), S. Thober (UFZ)

Thema 7: M. Döring, B. Ratter (beide HZG, Uni Hamburg), T. Kunz-Plapp (KIT), M. Peichl, R. Schwarze (beide UFZ)

Thema 8: G. Lohmann, L. Max, R. Tiedemann (alle AWI)

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

REKLIM im Dialog: R. Treffeisen, K. Grosfeld (beide AWI)

Fotonachweise:

Foto Umschlag außen: DKRZ/HZG/CliSAP, Foto Umschlag Innenseite: Stephanie von Neuhoff, Fotos 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 Rechenzen-trum, 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, Fotos Seite 26/27: Renate Treffeisen, Marietta Weigelt, DEKRA Hochschule für Medien.

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