

PETER LEMKE, KLAUS GROSFELD

REGIONALE KLIMAÄNDERUNG – PERSPEKTIVEN EINER GLOBALEN HERAUSFORDERUNG

Das Jahr 2015 hat im Rahmen der Klimaaufzeichnungen eine herausragende Position eingenommen: es war das wärmste Jahr seit Beginn der weltweiten Temperaturmessungen im Jahr 1880. Seit dem hat sich die Erde um etwa 1 °C erwärmt. In Deutschland gab es 2015 eine gestiegene Zahl an Hitzetagen (Temperaturen größer als 30 °C) mit ausgedehnten Dürreperioden und Trockenstress, die die Landwirtschaft vor große Herausforderungen stellte, lokalen Extremereignissen mit Starkniederschlägen sowie ungewöhnliche Sturmereignisse im Frühjahr und Sommer. Die Auswirkungen des Klimawandels werden zunehmend sicht- und spürbarer, die hierdurch hervorgerufenen Kosten steigen!

Um die damit verbundenen großen Herausforderungen und die sehr unterschiedlichen Aufgaben optimal bearbeiten und die Auswirkungen des Klimawandels auf der regionalen Skala besser beurteilen zu können, haben sich schon im Jahr 2009 neun der in der Helm-

holtz-Gemeinschaft organisierten Großforschungszentren zu dem Forschungsverbund „Regionale Klimaänderungen (REKLIM)“ zusammengeschlossen. Ziel des Verbundes ist die Auswertung und Kombination der mit vielfältigen Methoden gewonnenen Daten. Mit ihrer Hilfe und mit optimierten Klimamodellen sollen so zu erwartende Entwicklungen erkannt und darauf aufbauend wichtige Entscheidungshilfen für gesellschaftliche Akteure erarbeitet werden. Dabei geht es um die Anpassung (adaptation) an die Konsequenzen eines in gewissem Umfang unvermeidlichen Temperaturanstiegs, aber natürlich auch um Maßnahmen zur Milderung (mitigation) des zu erwartenden Klimawandels.

Dabei bedienen sich die Forschungszentren unterschiedlicher Beobachtungssysteme zu Lande, zu Wasser und in der Luft. Auf diese Weise kann man die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Eis, Ozean und Landoberflächen sorgfältig erforschen und

REKLIM bearbeitet folgende Themenfelder:

- *Gekoppelte Modellierung regionaler Erdsysteme*
- *Meeresspiegeländerungen von globaler zu regionaler und lokaler Skala*
- *Regionale Klimaänderungen in der Arktis: Steuerung und Langzeiteffekte am Übergang Land-Ozean*
- *Die Landoberflächen im Klimasystem*
- *Atmosphärische Zusammensetzung und Klima: Wechselwirkungen von globalen zu regionalen Skalen*
- *Modellierung und Verständnis extremer meteorologischer Ereignisse*
- *Risikoabschätzungen und Risikomanagement für integrierte Klimastrategien*
- *Schnelle Klimaänderungen aus Proxy-Daten*

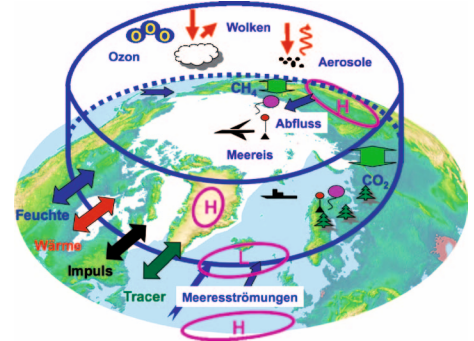


THEMA 1: GEKOPPELTE MODELLIERUNG REGIONALER ERDSYSTEME

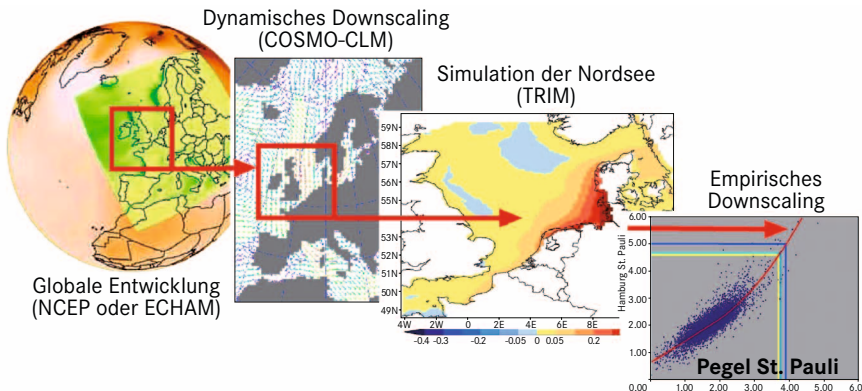
Das Klima beeinflusst die Lebensverhältnisse auf der Erde in vielfältiger Weise. Daher ist es von besonderer Wichtigkeit zu wissen, wie sich das Klima zukünftig ändert, um hierauf möglichst früh reagieren und ggf. Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen einleiten zu können. Wichtige Instrumente dafür sind sogenannte Klimamodelle, die auf mathematisch-physikalischen Grundlagen beruhen und im Wesentlichen die Gesetze der Erhaltung von Energie, Masse und Impuls beschreiben. So können die Änderungen beispielsweise der Luft- oder Ozeantemperatur, der Windgeschwindigkeit oder Ozeanströmung und viele weitere, das Klima beschreibende Größen an diskreten Punkten auf einem die Atmosphäre oder den Ozean repräsentierenden dreidimensionalen Gitter berechnet werden. Dies ist bei einer die Erde umspannenden Berechnung jedoch nicht vollständig und in hoher lokaler Genauigkeit möglich, dennoch sind die heutigen Klimamodelle schon sehr gut in der Lage, wichtige Prozesse in unserem Klimasystem zu verstehen, die natürlichen Veränderungen zu beschreiben und auch den vom Menschen verursachten Eingriff durch die Emission von Treibhausgasen in sogenannten Klimaszenarien für die Zukunft zu projizieren. Dieses Wissen wird im Klimabericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaver-

änderungen (IPCC) alle 5-6 Jahre zusammengefasst und bildet die Grundlage für politische Entscheidungen und Handlungsmaßnahmen (www.ipcc.ch).

Das gekoppelte Klimasystem und seine Antriebskräfte für die Modellregion Arktis (Grafik: K. Dethloff, AWI).



Globale Klimamodelle sagen jedoch nur wenig über die Klimaänderungen in einzelnen Regionen aus, da ihre Auflösung hierfür oft nicht ausreicht. Für eine Abschätzung von Klimaänderungen, wie etwa die Abnahme der Meereisbedeckung in der Arktis oder Änderungen des Niederschlags im Harz, sind daher realistische regionale und lokale Klimaprognosen unerlässlich. Diese betrachten einen Ausschnitt des Klimasystems und können das Klima dadurch in wesentlich höherer räumlicher Auflösung und erhöhter physikalischer Komplexität simulieren.



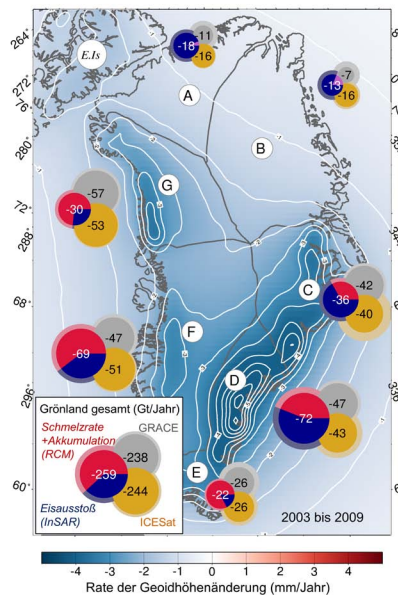
Beispiel einer Modellkaskade, die ausgehend von einer globalen Modellierung die Nordseeregion bis hin zum lokalen Pegel zum Meeresspiegelanstieg bei St. Pauli, Hamburg wie ein Vergrößerungsglas darstellt (Grafik: H. v. Storch, HZG).

THEMA 2: MEERESSPIEGELÄNDERUNGEN VON GLOBALER ZU REGIONALER UND LOKALER SKALA

In den vergangenen 3000 Jahren, in denen sich die menschliche Zivilisation überwiegend an den Küsten ansiedelte, hat sich der Meeresspiegel nur unwesentlich verändert. Hafen- und Städtebauer brauchten nur auf die Sturmfluten, nicht aber auf den Anstieg des Meeresspiegels Rücksicht zu nehmen. Das hat sich in den vergangenen Jahrzehnten geändert, denn der Meeresspiegel erhöht sich zurzeit um 3.2 mm/Jahr und ist damit fast doppelt so hoch, wie der mittlere Meeresspiegelanstieg im 20. Jahrhundert (1.7 mm/Jahr). Ursache dafür ist das zunehmende Abschmelzen von Gebirgsgletschern, das Schmelzen der großen Eisschilde auf Grönland und in der Antarktis sowie die thermische Ausdehnung der Ozeane aufgrund der durch den Klimawandel verursachten höheren Atmosphärentemperaturen. Um den Beitrag der Gebirgsgletscher und der Eisschilde zu erfassen, werden seit 2002 Messungen der Satellitenmission GRACE eingesetzt. Dazu messen zwei Satelliten im Tandemflug kleinste Veränderungen der Anziehungskraft der Erde, die beispielsweise durch den Abfluss von Eis in den Ozean entstehen. Innerhalb von REKLIM konnte gezeigt werden, dass vor



Das Forschungsflugzeug Polar 5 des AWI auf der Landebahn von Longyearbyen, Spitzbergen, beim Start zu einem Messflug (Foto: J. Käbbohrer).

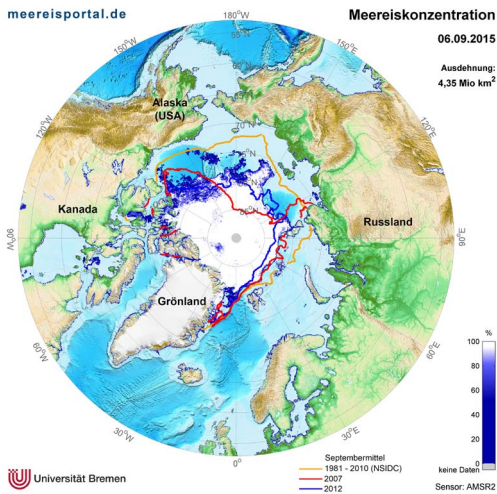


Rate der regionalen Eismassenänderung in Grönland in Gigatonnen/Jahr zwischen 2003 und 2009. GRACE-Schwerefelddaten (grau) und ICESat-Eishöhenänderungen (orange); Summe der Abweichungen in der Oberflächenmassenbilanz (Schmelzrate + Akkumulation) von einem regionalen Klimamodell (rot) und im Ausfluss der Gletscher und Eisströme aus Daten der Radar-Interferometrie (blau). (Grafik: I. Sasgen, AWI).

allem im Südosten und Nordwesten Grönlands starke Massenverluste zu verzeichnen sind. Dieses Muster wird durch Satellitenmessungen der Eishöhen (ICESat) bestätigt. Dabei spielen sowohl erhöhte Fließgeschwindigkeiten der Gletscher und Eisströme, als auch höhere Schmelzraten eine Rolle, was durch einen Vergleich mit Daten der Satelliten-Interferometrie (InSAR) bzw. einem regionalen Klimamodell (RCM) gezeigt werden konnte. Bezogen auf das Mittel der Jahre 1961 bis 1990 hat die Schmelzrate für den grönländischen Eisschild um etwa 62 % und die Kalbungsrate um etwa 23 % zugenommen. Beide Prozesse sind also entscheidend für den mit GRACE beobachteten Massenverlust von 238 ± 22 Gigatonnen (10^9 t)/Jahr zwischen 2003 und 2009. Die Zunahme der Atmosphärentemperaturen erhöht die Schmelzrate weiter und der Massenverlust beschleunigt sich. So hat GRACE für 2003 bis 2013 einen Massenverlust von 269 ± 17 Gigatonnen /Jahr gemessen.

THEMA 3: REGIONALE KLIMAÄNDERUNGEN IN DER ARKTIS

Die Arktis spielt eine Schlüsselrolle im globalen Klimasystem. Von besonderem Interesse ist, wie sich der Klimawandel auf den Arktischen Ozean, das Meereis und die Permafrostregionen auswirkt. Hierfür werden die Wechselwirkungen zwischen Kryosphäre, Landoberflächen, Ozean und Atmosphäre mit Hilfe von Langzeitbeobachtungen und Messkampagnen auf den Landoberflächen und im arktischen Ozean sowie durch Modellierungsanwendungen untersucht. Ein wesentliches Merkmal der Klimaänderungen in der Arktis ist der Rückgang der sommerlichen Meereisausdehnung, die aufgrund des damit verbundenen veränderten Rückstreuvermögens



Meereisminimum 2015 in der Arktis im Vergleich zu 2007, 2012 und dem langjährigen Mittelwert.

der solaren Einstrahlung (Eis-Albedo-Rückkopplung) zu einer polaren Verstärkung des Klimawandels beiträgt. Diese Ausdehnung hat in der Arktis in den letzten 35 Jahren bereits um mehr als 44 % abgenommen. Permafrost (Dauerfrostboden) bedeckt etwa



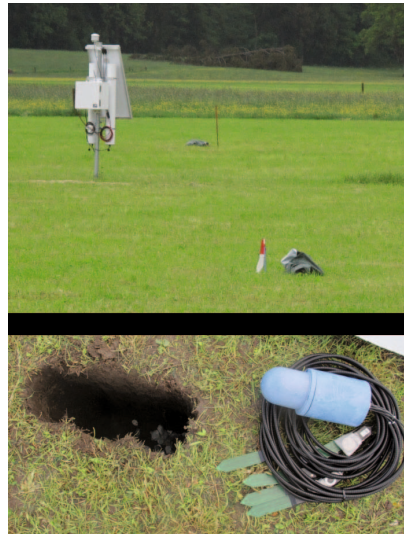
Beobachtungssystem für zeitlich hochauflösende Messungen der Spurengasflüsse zwischen sibirischer Tundra und der Atmosphäre im Lenadelta, Sibirien (Foto: T. Sachs, GFZ).

ein Viertel der nördlichen Hemisphäre und erreicht dort eine Mächtigkeit von bis zu 1000 Metern. In den letzten Jahrzehnten ist die Temperatur im Permafrost der Nordhalbkugel jedoch bereits um 2-3 °C gestiegen, was zu einer Vertiefung des sogenannten jährlichen Auftaubodens führt. Hierbei nimmt die bakterielle Zersetzung von organischem Material zu. Unter Sauerstoffabschluss führt dies zur Bildung von Methan, das neben Kohlendioxid das zweitwichtigste Treibhausgas ist. Um die zugrundeliegenden Prozesse zu verstehen, werden auf der russisch-deutschen Forschungsstation Samoylov im zentralen Lenadelta (Laptewsee-Region, Sibirien) Messfelder zur Beobachtung der Energie-, Wasser- und Treibhausgasflüsse betrieben. Mit Hilfe von geschlossenen Messkammern sowie mit mikrometeorologischen Methoden werden Emissionen aus geologischen und biologischen Prozessen gemessen, durch organisch-biogeochemische Analysemethoden untersucht sowie mit numerischen Simulationen quantifiziert.

THEMA 4: LANDOBERFLÄCHEN IM KLIMASYSTEM

Das Klima übt einen großen Einfluss auf die Landoberflächen aus, insbesondere auf Ökosysteme, Wasserressourcen, Land- und Forstwirtschaft; aber auch umgekehrt haben Landoberflächen einen bedeutenden Einfluss auf das Klima. Derzeit fehlen jedoch Umweltdaten, die über einen längeren Zeitraum in kleineren Regionen gesammelt werden. Nur mit solchen Daten können langfristige regionale Veränderungen erkannt, erklärt und daraus notwendige Vermeidungs- und Anpassungsstrategien abgeleitet werden. Das große, auf Langfristigkeit angelegte Beobachtungsprogramm TERENO schließt diese Lücke. Innerhalb von TERENO sind derzeit vier Observatorien in Deutschland in Betrieb. Die Eifel-Niederrheinische Bucht im Westen, die eiszeitlich geprägte Landschaft im nordostdeutschen Tiefland, der Großraum Leipziger Halle in Mitteldeutschland und die Alpen- und Alpenvorlandregion im Süden bieten einen repräsentativen Querschnitt der deutschen Landschaftstypen. Mit modernsten Methoden aus der Umwelttechnik, der Geophysik und der Fernerkundung werden Umweltdaten von boden-, flugzeug- und weltraumgestützten Sensoren aufgezeichnet, insbesondere Beobachtungen zur Wasser- und Bodenqualität, zur Vegetation und zur biologischen Vielfalt. TERENO liefert einzigartige Daten über die Wechselwirkungen von Vegetation und Klima, die aber auch zum Testen von Modellen der Landoberfläche genutzt werden.

Automatisches Treibhausgas-Messsystem am Voralpen-Standort Rottenbuch (Foto: R. Kiese, KIT IMK-IFU).



Einbau des funkbasierten Bodenfeuchtenetzwerks und einer Neutronen-sonde am TERENO Standort Peißenberg-Fendt des KIT (Foto: B. Fersch, I. Völksch, KIT).

Die Bodenfeuchte ist hierbei von besonderem Interesse. Sie ist eine wichtige Zustandsgröße für den Austausch von Wasser und Energie zwischen Atmosphäre und Landoberfläche. Sie hängt unter anderem von der Versickerung von Niederschlag, der Verdunstung sowie der Umwandlung von kurzweiliger Strahlung in fühlbare Wärme ab. Aufgrund der starken räumlichen Variabilität ist eine aussagekräftige Bestimmung der Bodenfeuchte aus Punktmessungen speziell für größere räumliche Skalen schwierig. Diese Information ist aber gerade für die Überprüfung und Verbesserung von hydrologischen und regionalen Klimamodellen von großer Bedeutung. Hochaufgelöste Radarmessungen von Satelliten und Flugzeugen, aber auch die Nutzung der kosmischen Hintergrundstrahlung (Neutronen), stellen hier neue Ansätze für die großflächige Bestimmung der Bodenfeuchte dar. Aktuelle Informationen zur Bodenfeuchte in Deutschland werden über den „Dürremonitor“ zur Verfügung gestellt (siehe Seite 205).

THEMA 5: ATMOSPHERISCHE ZUSAMMENSETZUNG UND KLIMA

Die Atmosphäre ist die Klimakomponente, mit der der Mensch in direktem Kontakt steht. Es ist unbestritten, dass der Kohlendioxidgehalt der Luft den größten Anteil am globalen Klimawandel hat. Allerdings gibt es eine Vielzahl anderer Spurengase und Schwebeteilchen in der Atmosphäre, die für das Klima und klimarelevante Prozesse wichtig sind. Diese Luftbestandteile können zu Änderungen der Strahlungsbilanz führen und damit das regionale Klima beeinflussen. Die atmosphärische Konzentration von Luftschadstoffen und klimawirksamen Luftbestandteilen werden durch ein komplexes Zusammenspiel von Emissionen, chemischen Umwandlungen, Transport und Ablagerung bzw. Auswaschen bestimmt. Diese Prozesse werden durch Wetter und Klima gesteuert. Sie beeinflussen gleichzeitig aber auch Wetter und Klima und sind hoch komplex.

Dies erfordert bessere Beobachtungen und detailliertere Modelle. Nur so lässt sich der Einfluss der Luftzusammensetzung auf das Klima, die menschliche Gesundheit und auf die Ökosysteme verstehen.



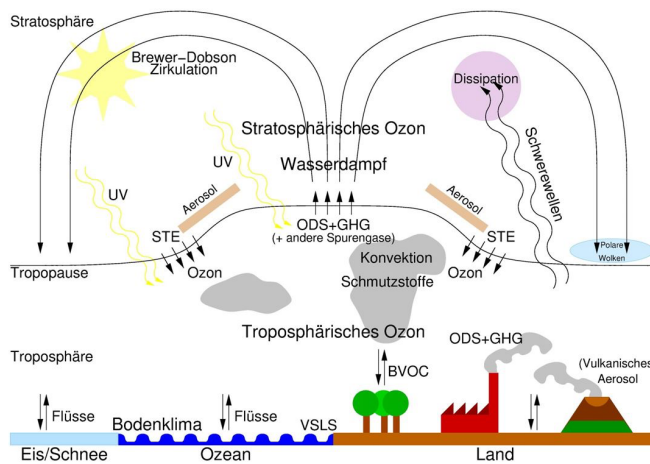
Pollenmessstation in Augsburg zur Untersuchung des Einflusses anthropogener Luftschadstoffe auf die Allergenität von Birkenpollen (Foto: C. Traidl-Hoffmann, UNIKA-T).

Zur Untersuchung der vollständigen Wirkungskette, die von globalen zu regionalen Skalen führt, werden Modelle und atmosphärenchemische sowie meteorologische Beobachtungen verwendet. Auf der globalen Skala werden zum Beispiel Spurenstoffkreisläufe, der Austausch zwischen Stratosphäre und Troposphäre sowie die Struktur der Tropopause und Aerosol-

effekte untersucht. Auf kleineren Skalen sind Wechselwirkungen zwischen Wolken, Niederschlag und Luftzusammensetzung Bestandteil der Forschungen. 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 den Menschen und Ökosysteme.

Ein komplexes System ...

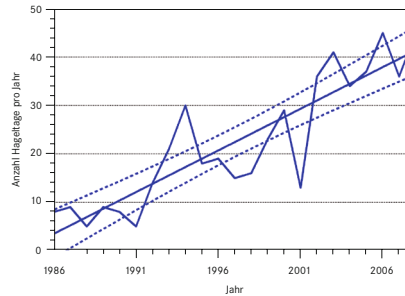
Idealisierte Darstellung des Klimasystems unter besonderer Berücksichtigung der Luftzusammensetzung (Grafik: P. Braesicke, KIT).



... und wir sind mittendrin!

THEMA 6: MODELLIERUNG UND VERSTÄNDNIS EXTREMER METEOROLOGISCHER EREIGNISSE

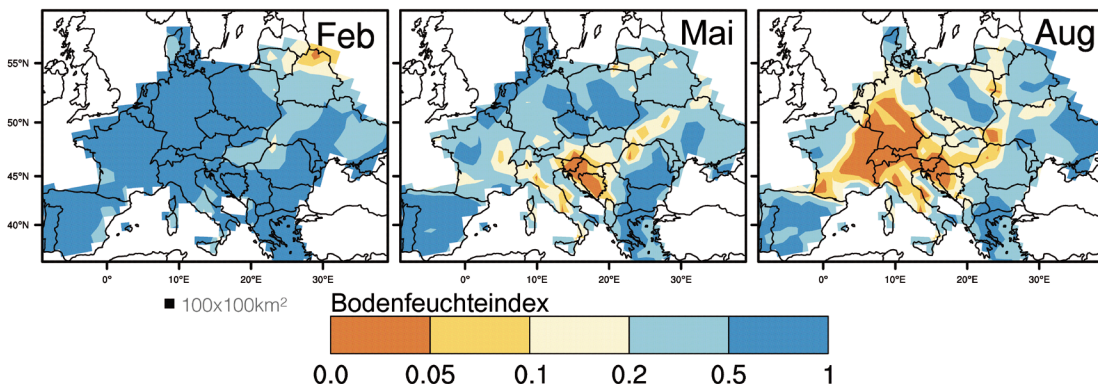
Wie sich der Klimawandel auf meteorologische Extremereignisse auf der regionalen Ebene auswirkt, ist noch immer nicht vollständig verstanden. Der Frühsommer 2016 war in Süddeutschland beispielsweise durch häufige Starkregenereignisse und Überflutungen gekennzeichnet. Unklarheit besteht jedoch insbesondere noch darüber, in welcher Weise die verschiedenen Austauschprozesse in der Atmosphäre durch den Klimawandel modifiziert werden und welche Auswirkungen dies auf die Häufigkeit und Intensität der verschiedenen Wettersysteme hat. Um dies genauer verstehen zu können und um Extremereignisse wie außertropische und tropische Stürme, Starkniederschläge, Dürren, Gewitter oder Hagelereignisse zuverlässig nachzubilden und statistisch analysieren zu können, werden Ergebnisse hochaufgelöster globaler und regionaler Klimamodelle mit Daten verschiedener Beobachtungssysteme kombiniert. Zukünftig zu erwartende Änderungen der Extremereignisse werden auf der Grundlage eines Ensembles regionaler Klimamodelle quantifiziert. Die Auswirkungen von Extremereignissen sind vielfältig. Durch Verringerung von Ernteerträgen können Dürren zu humanitären Krisen und hohen wirtschaftlichen Schäden führen. Beispielsweise herrschte im Jahr 2003 über weiten Teilen Europas eine schwere Dürre,



Aus Versicherungsdaten abgeleitete Änderung der Anzahl von Hageltagen mit linearem Trend und Konfidenzintervallen (95 % Signifikanz) in den letzten Jahrzehnten in Baden-Württemberg. Die Änderung ist konsistent mit Befunden über die Gewitterbereitschaft (Grafik: M. Kunz, KIT).

deren saisonale Entwicklung in der Abbildung unten auf der Seite dargestellt ist. Dürren sind definiert in Regionen mit einem Bodenfeuchteindex niedriger als 0,2. Während im Februar 2003 in nahezu keiner Region Europas eine Dürre existierte, entwickelte sich im Frühjahr eine schwere Dürre. Der Höhepunkt zeigte sich im August, als ein Bodenfeuchteindex von weniger als 0,05 in weiten Teilen Mitteleuropas vorlag. Um bessere Anpassungsmöglichkeiten an diese Extreme zu ermöglichen, wurde ein saisonales Dürrevorhersagesystem für Europa entwickelt. Dieses beruht auf meteorologischen Prognosen von Klimamodellen, die mittels eines mesoskaligen hydrologischen Modells in Bodenfeuchtevorhersagen übersetzt werden. Es konnte gezeigt werden, dass diese Vorhersagen eine höhere Vorhersagegüte von Dürren liefern, als ein bisher oft verwendeter statistischer Ansatz.

Entwicklung des Bodenfeuchteindex während der Hitzewelle 2003 in Europa. Dürren sind in Regionen mit einem Bodenfeuchteindex niedriger als 0,2 definiert (Grafik: S. Thober, UFZ).



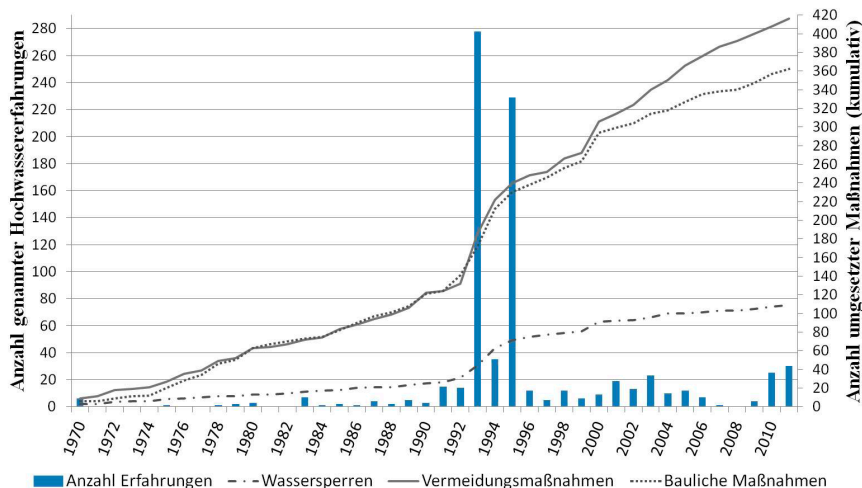
THEMA 7: RISIKOABSCHÄTZUNGEN UND RISIKOMANAGEMENT FÜR INTEGRIERTE KLIMAAANPASSUNGSSTRATEGIEN

Basis für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel ist die Abschätzung und Bewertung zukünftiger Risiken. Die integrierte Analyse der Dynamiken des Klimawandels und des sozioökonomischen Wandels in regionalen Kontexten stellt daher eine große Herausforderung dar. Hier gilt es, neue Ansätze zu finden. Die Verbindung von natur- und sozialwissenschaftlichen Ansätzen ermöglicht solche integrierten regionalen Risikoanalysen. Bei der Betrachtung meteorologischer Extremereignisse, wie Sturmfluten, Hochwasser, Starkwinde, Hagel und Dürren kommt es folglich auf die gemeinsame Bewertung kommunaler oder regionaler Planungskonzepte und Anpassungsstrategien an. Hierfür werden Methoden und Verfahren entwickelt, um politische Entscheidungsträger und weitere Stakeholder im Management von Risiken unter hohen Unsicherheiten zu unterstützen. So werden beispielsweise in Deutschland und Europa zunehmend integrative Konzepte des Hochwassermanagements umgesetzt, wobei hierzu auch private Haushalte einen Beitrag leisten sollen (z.B. durch Einsatz mobiler Wassersperren, Sichern von wassergefährdenden Stoffen). Es zeigt sich jedoch, dass



Hochwasser August 2002, Ölfilm in einer bäuerlichen Siedlung bei Segrehna (Foto. André Künzelmann, UFZ).

vor allem erst direkte Hochwassererfahrungen zur Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen führen. Werden aber durch den Klimawandel zunehmend auch Gebiete mit weniger oder keiner Hochwassererfahrung beeinflusst, stellt sich die Frage, wie in diesen Regionen ein ausreichendes Bewusstsein sowie eine hinreichende Vorbereitung zur Vorsorge erreicht werden kann. Dies kann nur durch ein frühzeitiges Risikomanagement verbunden mit einer Anpassung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Vorhersage erreicht werden.



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

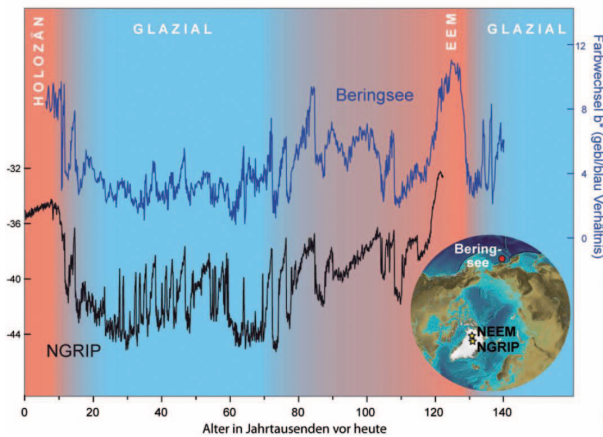
THEMA 8: SCHNELLE KLIMAÄNDERUNGEN AUS PROXY-DATEN

Die gegenwärtige und zukünftige Klimaentwicklung unterliegt aufgrund des zunehmenden menschlichen Einflusses auf das Klimasystem einem deutlichen Wandel. Umstritten ist allerdings, in welchem Umfang und mit welcher Geschwindigkeit dies geschieht. Für eine verbesserte Abschätzung fehlt es bislang an Informationen über Dauer, Geschwindigkeit, Frequenz und regionalen Mustern von lang- und kurzfristigen Klimaschwankungen aus Zeiträumen, in denen der Einfluss durch den Menschen noch keine Rolle spielte. Solche Informationen sind in natürlichen Klimaarchiven gespeichert, wie z.B. in den Sedimentablagerungen am Grund von Seen und dem Ozean, den großen polaren Eisschilden, aber auch in fossilen Sanddünen an Land. Die Erstellung erdgeschichtlicher



Expedition mit dem Forschungsschiff „Polarstern“ in den Südpazifik. Einsatz des Kolbenlotes zur Gewinnung von Sedimentkernen (Foto: R. Gersonde, AWI).

Zeitreihen und deren Interpretation mithilfe der Paläoklimamodellierung bildet eine wesentliche Basis zum Verständnis über die Reaktion und Dynamik des Klimas gegenüber Veränderungen in den Anfachungsmechanismen und internen Rückkopplungsprozessen im Klimasystem. Aus diesem Rückblick in die Klimavergangenheit wissen wir, dass schnelle Klimaänderungen mit ausgeprägten Wechseln in Temperatur und Niederschlag auf Zeitskalen von Jahren, Dekaden und Jahrhunderten nicht ungewöhnlich sind. So registrierten beispielsweise Eiskerndaten für den Zeitraum der letzten Eiszeit (~70.000 - 15.000 Jahre vor heute) und den darauf folgenden Übergang in unsere heutige Warmzeit (~15.000 - 11.000 Jahre vor heute) sprunghafte Änderungen in Temperatur, Niederschlag und atmosphärischer Zirkulation. Diese Änderungen gingen mit Temperatursprüngen von teilweise bis zu 10 °C einher und vollzogen sich innerhalb weniger Dekaden oder sogar weniger Jahre. Die raumzeitlichen Klimamuster von Warmzeiten sind allerdings nur sehr lückenhaft dokumentiert und auch in ihren Ursachen nur wenig verstanden. Ihre Rekonstruktion und modellgestützte Interpretation bilden daher einen wichtigen Schlüssel, um die natürliche Klimadynamik in ihrer Gesamtheit zu verstehen.



Die Muster der raschen Klimawechsel auf Grönland (NGRIP $\delta^{18}O$) spiegeln sich in der Beringsee (auch Beringmeer) mit Farbwechseln in der Sedimentzusammensetzung (Kern SO-212-1-85KL) während der letzten 140.000 Jahre wider. Die Farbwechsel kennzeichnen eine erhöhte Produktivität von Diatomeen (Kieselalgen) während warmzeitlicher Ereignisse. Diese Wechsel sind auf enge atmosphärische Fernwirkungsprozesse zwischen Grönland und der Beringsee zurückzuführen (Grafik: R. Tiedemann, AWI; North Greenland Ice Core Project Members, 2004)

PRODUKTE: DIGITALE PRODUKTE FÜR DEN WISSENSTRANSFER

Die vier regionalen Klimabüros der Helmholtz-Gemeinschaft gestalten seit vielen Jahren erfolgreich die Schnittstelle zwischen Praxispartnern und der Wissenschaft. Dabei kommt eine Vielzahl von Wissenstransferaktivitäten zum Einsatz, die auf die jeweiligen Adressaten zugeschnitten sind. Hierzu zählen zum Beispiel Vorträge, Medienarbeit, Politikberatung,

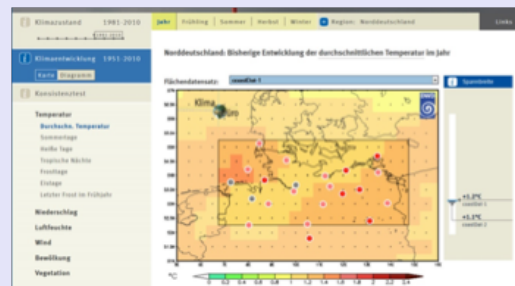
Aus- und Weiterbildung oder Projektarbeit. Eine besondere Form der einfachen Bereitstellung von Wissen mit großem gesellschaftlichem Nutzen ist die Nutzung digitaler Medien, wie dem Internet oder Apps. Die Regionalen Klimabüros haben in diesem Bereich in den letzten Jahren einige kostenfreie, bedarfsorientierte Produkte entwickelt.

WISSENSPLATTFORM „MEEREISPORTAL.DE“



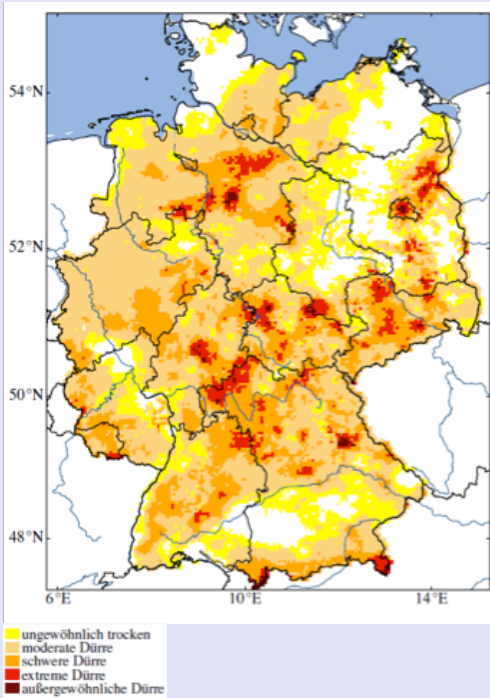
Der Klimawandel wirkt sich besonders stark in den Polargebieten aus und verursacht dort große Veränderungen des Meereises, das Heimat für ein ganz spezielles Ökosystem ist. Auf der in REKLIM entwickelten Internet-Plattform meereisportal.de werden wissenschaftliche Erkenntnisse rund um das Thema Meereis der Arktis und Antarktis erstmalig zentral für alle gesellschaftlichen Ebenen in unterschiedlichen Vertiefungs- und Detaillierungsgraden für den deutschsprachigen Raum bereitgestellt. Hintergrundinformationen zu Veränderungen des Meereisvorkommens und deren Ursachen, Expertenwissen und ein Karten- und Datenarchiv bilden die drei Säulen der Wissensplattform.

NORDDDEUTSCHER KLIMAMONITOR



Wie sich das Klima in Norddeutschland seit 1951 verändert hat, zeigt die Internetplattform Norddeutscher Klimamonitor (<http://www.norddeutscher-klimamonitor.de>), die das Norddeutsche Klimabüro am HZG und das Regionale Klimabüro Hamburg des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entwickelt haben. Mit dem Norddeutschen Klimamonitor wird das Klima der letzten 60 Jahre (1951-2010) für Norddeutschland erstmals umfangreich ausgewertet und interaktiv vorgestellt. So wurden neben den Klimaelementen wie Lufttemperatur, Niederschlag und Wind auch abgeleitete Größen wie Sommertage, Starkniederschlags-tage und Sturmtage ausgewertet. Die Klimaentwicklungen der Vergangenheit können mit regionalen Klimaszenarien verglichen werden. Auf diese Weise können Nutzer erkennen, ob es sich bei den bereits eingetretenen Änderungen um natürliche Schwankungen handelt oder ob sie möglicherweise bereits eine Folge anthropogener Treibhausgasemissionen sind.

DÜRREMONITOR



Trockenheit ist in Deutschland nicht erst seit der Hitzewelle 2003 ein bekanntes Phänomen. Betroffene sind z.B. Land- und Forstwirte oder Wassermanager. In den vergangenen Jahren wurde zunehmend über negative Folgen in Teilen Deutschlands, beispielsweise in der Forstwirtschaft durch kostenintensive Brandüberwachungsflüge, oder über Ertragsrückgänge bei Wintergetreide in Bayern und Mitteldeutschland berichtet. Flächendeckende Informationen zu Bodenfeuchte waren lange Zeit nicht verfügbar. Daher wurde am Mitteldeutschen Klimabüro der Dürremonitor (<http://www.ufz.de/duerremonitor>) entwickelt, der täglich aktuelle Informationen zum Trockenheitszustand in Deutschland liefert. Dazu wird auf Basis von Wetterdaten der Bodenfeuchtezustand hochaufgelöst berechnet und dann statistisch mit langjährigen Simulationen seit 1950 verglichen. Damit kann eine Dürreklassifizierung vorgenommen werden, die die Wahrscheinlichkeit von Trockenschäden an Pflanzen abbildet.

SMARTPHONE APP „DEIN KLIMA“

Der Klimawandel ist besonders in Städten spürbar. Gerade dort gibt es jedoch eine Vielzahl an Möglichkeiten, sowohl Klimaschutz zu betreiben als auch sich an den Klimawandel anzupassen. Das gilt auch für Karlsruhe mit knapp 300.000 Einwohnern und der Lage im warmen Oberrheingraben. Es lohnt sich daher, einen genaueren Blick auf Umsetzungsbeispiele zu werfen, wie mit den Folgen des Klimawandels umgegangen wird. Mit der Broschüre „Dein Standpunkt zum Klima“ und der dazugehörigen App „Dein Klima“ stellt das Süddeutsche Klimabüro am Karlsruher Institut für Technologie bedeutende Orte in Karlsruhe vor, die eine Rolle für das Klima in der Stadt spielen. Dazu gehören ein stadtnaher Wald, ein Nullenergiehaus oder eine Straßenbahn, die die Luftqualität misst. So bekommen auf dem Weg zur Arbeit oder beim Sonntagsspaziergang Orte in Karlsruhe eine besondere, erfahrbare klimatologische Bedeutung.



INDEX: PERSPEKTIVEN UND KONTAKTE

Die Klimaforschung ist ein breites und interdisziplinäres Feld, in dem naturwissenschaftlich und technisch interessierte junge Menschen ein spannendes und interessantes Berufsfeld finden können. Dies reicht von der Ausbildung in handwerklichen oder auch verwaltungstechnischen Berufen, im technischen und ingenieurwissenschaftlichen Bereich bis hin zum Studium der Natur- und Ingenieurwissenschaften (Bachelor, Master, Promotion). Denn sowohl die

administrative Unterstützung von Forschung wie auch die Entwicklung von Geräten oder die Forschung selber sind alle zusammen Bestandteil einer modernen Wissenschaftswelt. Die Helmholtz-Gemeinschaft als größte deutsche Wissenschaftsorganisation bietet hier ein breites Spektrum an Möglichkeiten. Im Folgenden sind verschiedenen Adressen und Informationsportale aufgeführt, über die man an weitere Hintergrundinformation gelangen kann:

INFORMATIONEN ZUR NACHWUCHSFÖRDERUNG IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT:

www.helmholtz.de/karriere_talente/, <http://www.awi.de/arbeiten-lernen.html>

FORSCHUNGSZENTREN DES HELMHOLTZ-VERBUNDES REKLIM:

REKLIM-Verbund: www.reklim.de

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI): www.awi.de

Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG): www.hzg.de

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR): www.geomar.de

Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ): www.gfz-potsdam.de

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig (UFZ): www.ufz.de

Helmholtz-Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (HMGU):

www.helmholtz-muenchen.de

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): www.dlr.de

Karlsruher Institut für Technologie (KIT): www.imk.kit.edu

Forschungszentrum Jülich (FZJ): www.fzj.de

HELMHOLTZ-KLIMABÜROS FÜR DEN BEREICH WISSENSTRANSFER:

www.klimabuero-polarmeer.de

www.norddeutsches-klimabuero.de

www.mitteldeutsches-klimabuero.de

www.sueddeutsches-klimabuero.de

INTERNETPORTALE FÜR KLIMAINFORMATIONEN:

meereisportal.de: www.meereisportal.de

Norddeutscher Klimamonitor: www.norddeutscher-klimamonitor.de

Norddeutscher Klimaatlas: www.norddeutscher-klimaatlas.de

Regionaler Klimaatlas Deutschland: www.regionaler-klimaatlas.de

Dürremonitor: www.ufz.de/index.php?de=37937

Klima APP "Dein Klima": (<https://itunes.apple.com/de/app/id730876486?mt=8>; Apple oder <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kitkarlsruhe.klimastandpunkte&hl=en>; Android)

ANSPRECHPARTNER UND LEITUNG DES HELMHOLTZ-VERBUNDES REKLIM:

Prof. Dr. Peter Lemke, Email: peter.lemke@awi.de

Dr. Klaus Grosfeld, Email: klaus.grosfeld@awi.de

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

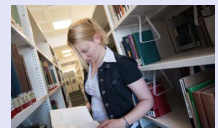


Foto: K. Reifens, AWI

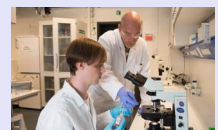


Foto: K. Reifens, AWI



Foto: K. Reifens, AWI

