



# Klima im Fokus

Ein Magazin des Hamburger Exzellenzclusters „Integrated Climate System Analysis and Prediction“ (ClISAP)

## Wann ist Wissenschaft erfolgreich?

Den Blick auf die Welt schärfen und unser Wissen vermehren – das sollte erfolgreiche Forschung leisten. Oder zählt vor allem der Nutzwert, also Erkenntnisse, die das Leben angenehmer machen und gesellschaftliche Probleme lösen? Vielleicht wird Forschung aber auch dadurch bedeutend, dass sie Anerkennung findet und zusätzliche Fördermittel erhält?

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat entschieden, unseren Exzellenzcluster für weitere fünf Jahre zu finanzieren – aufgrund guter wissenschaftlicher Arbeit und weil es uns gelungen ist, neue Strukturen in der Forschung sowie in der interdisziplinären Ausbildung unserer Studierenden voranzubringen.

Unsere Arbeit liefert neue Erkenntnisse zur Klimavorhersage für die nächsten zehn oder zwanzig Jahre und zu möglichen Entwicklungen in diesem und den nächsten Jahrhunderten. Dabei tauchen Fragen auf, die uns alle interessieren: Wie reagiert die Gesellschaft auf mögliche Klimaänderungen? Wie viel Anpassung ist nötig, welche Änderungen lassen sich vermeiden? Um Antworten zu geben, brauchen wir beides – eine ergebnisoffene Grundlagenforschung, die ihr kreatives Potenzial voll ausschöpfen kann. Gleichzeitig liefert unsere Forschung die Basis für konkrete Entscheidungen: Sollten die Deiche erhöht werden, der Emissionshandel ausgebaut? Welche Konflikte entstehen um Ressourcen wie Wasser und Land? Belastet der Klimaschutz die Wirtschaft oder bringt er sie voran?

In diesem Magazin zeigen wir, welche Szenarien unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diskutieren – naturwissenschaftliche und gesellschaftliche. Denn dafür steht der Hamburger Cluster, der klassische Klimadisziplinen wie Meteorologie oder Ozeanographie mit Soziologie, Ökonomie und Friedensforschung zusammenbringt.



Professor Martin Claußen, Sprecher des Exzellenzclusters ClISAP

# Inhalt



## 4 Zukunft erfassen

Land, Ozean, Atmosphäre:  
Immer bessere Modelle zeigen  
den Einfluss auf das Klima  
gestern, heute und in Zukunft

- 5 **Eine Heizung für Nordeuropa**  
Die Umwälzpumpe im Nordatlantik  
wärmt unsere Breiten. Aber bleibt  
sie stabil?
- 7 **Wenn Regenwald zu Ackerland wird**  
Seit Jahrhunderten verändert der  
Mensch das Klima, je nachdem wie  
er das Land nutzt



## 14 Entwicklungen aufzeigen

Der richtige Mix:  
Hochkarätige Naturwissenschaften plus  
aussagekräftige Gesellschaftsanalysen

- 15 **„Das können wir uns leisten“**  
Hermann Held und Uwe Schneider  
von der Forschungsstelle Nachhaltige  
Umweltentwicklung
- 20 **Hotspot Himalaya**  
Ein neues Projekt verzahnt drei  
unterschiedliche Fachbereiche
- 23 **Land unter – oder über?**  
Der Meeresspiegel steigt nicht überall  
gleich stark
- 28 **Klimawandel – ein Medienspektakel?**  
Das Topthema wirkt auf Politik und  
Meinungsbildung
- 32 **Wohin mit dem CO<sub>2</sub>?**  
Neue Klimarechnungen beziehen  
den Kohlenstoffkreislauf mit ein

## 43 Der Exzellenzcluster

4 Partner, 21 Institute, mehr als 250 kluge Köpfe –  
CliSAP bündelt und vernetzt die Hamburger Klimawissenschaften

- 47 **Impressum**



## 34 Klimaforschung vorantreiben

Vielfalt ist Gewinn:  
Die Klimaforschung profitiert vom  
Querdenken

- 35 **Beruf oder Berufung?**  
Ein Gespräch mit den Gender-  
Beauftragten Beate Ratter und  
Michael Köhl
- 38 **Mit Baby zum Kongress**  
Johanna Baehr: Herausforderungen  
mit wissenschaftlichem Ehrgeiz nehmen
- 38 **Karriere im Gleichschritt**  
Valerio Lucarini: Nutzt mit seiner  
Partnerin das Dual Career Programm
- 39 **Kompromisse statt Lösungen**  
Andreas Schmidt: Großeltern und  
Freunde unterstützen die Karriere
- 40 **Ein Physiker in der Biologie**  
Wie Algen in Klimamodelle  
integriert werden



zukunft  
erfassen

## Eine Heizung für Nordeuropa Wie der Ozean das Klima reguliert

Im Nordatlantik ackert eine riesige Umwälzpumpe und bringt Wärme nach Europa. Doch wie stabil läuft sie und was passiert, wenn diese ausfällt? Hamburger Klimaforscher beleuchten die Prozesse im Meer und entwickeln Vorhersagen.

Idyllische Yachthäfen, malerische Fischerdörfer, weißer Sand, türkisfarbenes Meer und Palmen. Jetzt einen schönen Café au lait und ein Croissant am Mittelmeerstrand? Nein, hier trinkt man Cream Tea mit Clotted Cream, einer Art dicker Sahne. Dazu gibt's warme Scones, kleine Gebäckstücke, mit Marmelade oder Honig. Britische Teekultur, denn wir sind in Cornwall, im äußersten Südwesten von England. Fürs milde Klima und mediterrane Flair sorgt der Golfstrom, Nordeuropas Warmwasserheizung.

Der Golfstrom ist Teil eines Strömungssystems im Nordatlantik. Vom Wind getrieben transportiert er an der Meeresoberfläche warmes Wasser aus dem Golf von Mexiko bis ins europäische Nordmeer und in die Arktis. Auf dem Weg dorthin gibt das Wasser Wärme an die Atmosphäre ab, die Luft erwärmt sich. „Daher kennen die Briten kaum Minusgrade und in Norwegen bleiben selbst im Winter viele Häfen eisfrei“, erläutert Professorin Johanna Baehr von der CliSAP Research Group „Climate System Data Assimilation“. Das gen Norden fließende Wasser wird also immer kälter und damit schwerer, bis es an bestimmten Stellen in die Tiefe sinkt. Bildet sich Eis, bleibt das Salz im Wasser zurück und macht es noch schwerer. Das kalte, salzhaltige, schwere Wasser strömt anschließend im tiefen Ozean Richtung Süden.

Klimaforscher sprechen deshalb von einer vertikalen Umwälzzirkulation im Atlantik. „Der Motor ist das Absinken von dichtem Wasser. Je kälter und salzreicher es ist, desto dichter und schwerer ist es auch und desto tiefer sinkt es“, sagt Ozeanografin Baehr. Doch was treibt den Motor an? „Gäbe es den Wärmetransport im Ozean nicht, würde es am Äquator immer heißer und zu den Polen hin immer kälter werden“, sagt Baehrs Kollege Professor Detlef Quadfasel. Hintergrund: Die Regionen entlang des Äquators nehmen durch die starke Sonneneinstrahlung mehr Energie auf, als sie wieder abstrahlen. In den Polarregionen ist es umgekehrt, dort ist der Energieaustausch ein Minusgeschäft. Um Ausgleich zu schaffen, muss die überschüssige Wärme vom Äquator in die höheren Breiten abtransportiert werden. In der Atmosphäre übernehmen Wasserdampf und Luftströmungen den Transport, den Rest erledigt der Ozean. Wasser ist das beste Wärmevehikel.

Die globale Erwärmung kann diese Prozesse im Ozean empfindlich stören und dadurch wiederum das Klima weiter verändern: Heißt sich die Atmosphäre auf, erwärmen sich die oberen Schichten des Ozeans. Fließt noch süßes Wasser aus der Eisschmelze dazu, sinkt außerdem der Salzgehalt. All dies verringert die Dichte des Ozeanwassers. Es dehnt sich also aus und der Meeresspiegel steigt. ➤

► Gleichzeitig sinkt das Wasser nicht mehr so tief ab. „Zwar wird es den Golfstrom immer geben, so lange der Wind in die gleiche Richtung pfeift und die Erde sich wie gehabt weiterdreht. Aber die Umwälzung des Wassers bis in große Tiefen des Nordatlantiks hinein könnte sich abschwächen“, sagt Johanna Baehr. Etwa 30 Prozent weniger Power erwarten Klimaforscher in den nächsten 100 Jahren, falls sich die Erde bis dahin um zwei Grad Celsius erwärmt. In Nordwesteuropa könnte es dadurch ein bis zwei Grad Celsius kälter werden. Ein willkommener Ausgleich zur globalen Erderwärmung? „Prinzipiell ja“, sagt Baehr, „nur besteht die Welt nicht allein aus Nordwesteuropa. In wärmeren Breiten gibt es einen solchen Ausgleich möglicherweise nicht.“

Doch 100 Jahre sind eine lange Zeit. Wann genau beginnen die Strömungen zu schwächeln? Wahrscheinlich nicht morgen, hat Baehr kürzlich mit Kollegen vom Hamburger Max-Planck-Institut für Meteorologie ermittelt. Bis 2014 jedenfalls soll demnach die Nordatlantik-Pumpe rundlaufen. Gemeinsam arbeiten die Ozeanografen an sogenannten dekadischen Vorhersagen, also für

**Auf Expeditionen gewinnen Forscher reale Messdaten. Verknüpft man diese mit langfristigen Klimamodellen, werden die kniffligen Vorhersagen für die nächsten Jahre möglich.**

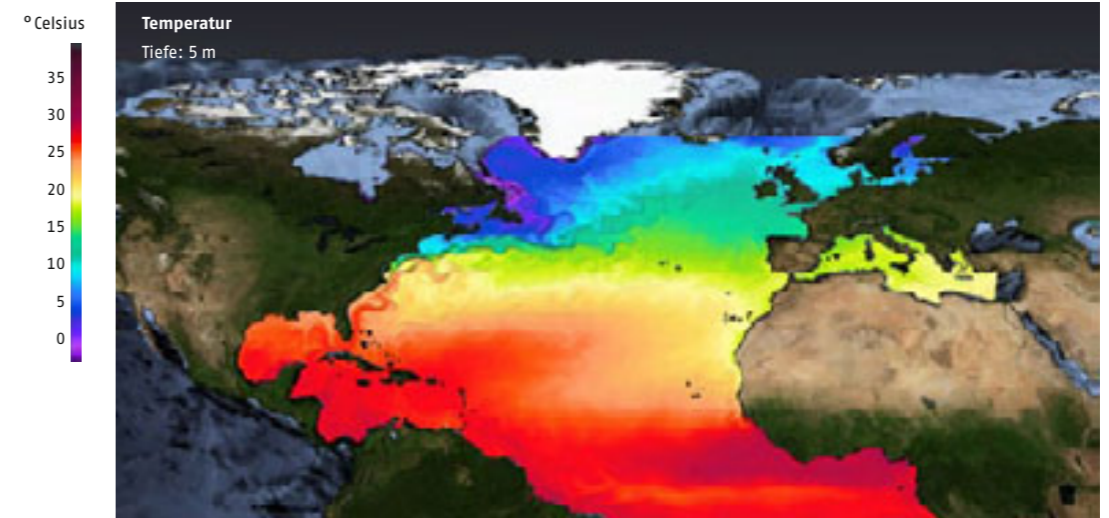


einige Jahre. Wissenschaftliches Neuland, da es sich weder um kurzfristige Wettervorhersagen, noch um langfristige Klimaprojektionen handelt, sondern um eine Kombination. „Deshalb brauchen wir für dekadische Vorhersagen auch Werkzeuge aus beiden Bereichen“, sagt Baehr.

## Noch läuft die Nordatlantik-Pumpe rund.

Die Ozeanografen verknüpfen also Beobachtungsdaten mit numerischen Klimamodellen. Letztere beschreiben langfristige physikalische Prozesse in mathematischen Gleichungen. Die neuen Modelle für dekadische Vorhersagen starten mithilfe von Beobachtungsdaten und rechnen zunächst die Vergangenheit nach, um anschließend in die Zukunft zu rechnen. Mit Erfolg: Erste Vorhersagen traten ein – Messungen bestätigten die für 2010 vorhergesagten kurzfristigen Strömungsschwankungen im Nordatlantik.

Auch Detlef Quadfasel hat bei Messungen am Schottland-Grönland-Rücken Strömungsschwankungen festgestellt. An diesem Unterwassergebirge schwappt das kalte Wasser auf seinem Weg in den Süden wie über einen



**Der Nordatlantik bunt, die Kontinente braun – Visualisierungen wie diese zur Wassertemperatur machen Messergebnisse und Prognosen greifbarer.**

Schüsselrand aus dem Nordmeer in den tiefen Atlantik. „Allerdings verzeichnen wir im Mittel für die vergangenen 15 Jahre keine Abnahme des Wassertransports. Was nicht heißt, dass sich dies in den nächsten 15 Jahren nicht ändern kann.“

Tatsächlich haben sich die Ozeane in den vergangenen 50 Jahren an der Oberfläche um durchschnittlich 0,6 Grad Celsius erwärmt. Die Labradorsee zwischen Südgrönland

Quadfasel weist zudem darauf hin, dass auch die kleinen Dinge richtig bewertet werden müssen. „Denn manche zunächst unscheinbaren Prozesse können große Wirkung entfalten. Ein Beispiel: Wenn das Wasser über den Meeresboden strömt, entstehen durch Reibung kleine Turbulenzen. Sie vermischen das Wasser. Ohne diese kleinräumige Vermischung würde die Ozeanzirkulation zusammenbrechen.“

Die Weltmeere speichern nicht nur Wärme, sondern auch Treibhausgase. Noch schlucken sie etwa die Hälfte des Kohlendioxids, das der Mensch aus Autos und Industrieschlotten entlässt. Doch die Kapazitäten des Ozeans sind irgendwann erschöpft. „Ein paar Hundert Jahre kann der Ozean noch CO<sub>2</sub> aufnehmen, dann ist der Speicher voll“, sagt Detlef Quadfasel. Wenn sich zusätzlich die Weltmeere erwärmen, dann ist der CO<sub>2</sub>-Speicher wahrscheinlich schneller voll. Denn warmes Wasser nimmt weniger Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf als kaltes. Darüber hinaus schlummern am Meeresboden Milliarden Tonnen Methaneis – halbwegs friedlich, so lange das Wasser kalt und schwer ist. Steigt jedoch die Temperatur, verwandelt sich Methaneis in gasförmiges Methan und blubbert mehr oder weniger schnell in Wasser und Atmosphäre. Als hochpotentes Treibhausgas kann es dann die globale Erwärmung weiter beschleunigen, die Meere erwärmen sich stärker, es steigt noch mehr Methan aus den Ozeantiefen auf – ein Prozess, der sich selbst verstärkt. ■

## Ein paar Hundert Jahre kann der Ozean noch CO<sub>2</sub> aufnehmen, dann ist der Speicher voll.

und der kanadischen Halbinsel Labrador, wo sich das Nordatlantikwasser noch einmal stark abkühlt und in die Tiefe sinkt, ist heute etwa zwei Grad wärmer als vor 20 Jahren. Doch Ozeantemperaturen können stark schwanken, besonders im Nordatlantik. „Diese Schwankungen sind unser Problem“, sagt Detlef Quadfasel. Er rechnet vor: „Wenn eine solche Periode 30 Jahre dauert, die Temperatur also 15 Jahre steigt und 15 Jahre fällt, und wir zufällig zehn Jahre Temperaturanstieg erfasst haben, dann scheint es, als hätten wir eine Riesenerwärmung.“ Doch jeder Prozess habe seine eigene Uhr und seine eigene Dynamik. „Man darf daher keine vorschnellen Schlüsse ziehen“, sagt der Ozeanograf.



Etwa zwei Drittel der Landoberfläche sind bewachsen. Ob Wald, Wiese oder Ackerland – je nachdem, wie der Mensch das Land nutzt, kann sich auch das Klima ändern. Und das nicht erst seit gestern, wie Hamburger Klimaforscher wissen.

**Wenn Regenwald zu Ackerland wird**  
Klimawandel ganz ohne Industrie



Wenn sich sieben Milliarden Menschen den Planeten teilen, muss so mancher Wald weichen. Wo natürliches Grün fehlt, blühen kreative Lösungen.

Eigentlich sind die Schuldigen für den Klimawandel längst ausgemacht: Kraftwerke, Autos, Rasenmäher, Kühlschränke und was der moderne Mensch sonst noch braucht, erwärmen mit ihren Treibhausgasen unseren Planeten. Seit der industriellen Revolution geht es steil bergauf mit dem Kohlendioxid in der Atmosphäre – und bergab mit dem Klima. Dr. Julia Pongratz hat in Modellrechnungen jedoch festgestellt: Auch schon Jahrhunderte vorher stieg mit zunehmender Landnutzung der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre deutlich an, wenn auch noch ohne wesentliche globale Konsequenzen.

Professor Martin Claußen, Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie und Leiter der Abteilung „Land im Erdsystem“, erläutert, warum: „Viele Waldgebiete sind der Landwirtschaft zum Opfer gefallen. Wälder speichern aber deutlich mehr Kohlenstoff als Getreidefelder und Viehweiden.“ Zwischen den Jahren 800 und 1850 – diesen

Zeitraum hat Pongratz untersucht – verdreifachte sich die Weltbevölkerung auf rund eine Milliarde Menschen. Es musste mehr Ackerland her, also musste mancher Wald weichen. Heute geht es den Wäldern radikaler denn je an den Kragen, besonders in den Tropen: Die Welt giert nach Holz und Ackerland – mit entsprechenden Folgen für das Klima.

Dabei treffen mehrere Prozesse aufeinander. Zum einen beeinflusst die Vegetation lokal ganz unterschiedlich den Energie- und Wasseraustausch sowie die bodennahe Luftströmung. Zum Beispiel reflektieren helle Getreidefelder mehr Sonnenstrahlung als dunkler Wald und wirken kühlend. Und der Wind pfeift zwar zügig über Graslandschaften, aber nicht ungehindert durch den Wald. „Das bodennahe Klima ist auf dem Acker anders als im Wald. Waldklima wirkt wie Seeklima: tagsüber kühlend, nachts wärmend und bei trockener Witterung eher

Die letzte Grünphase der Sahara liegt fünf- bis zehntausend Jahre zurück. Einst gab es hier Ackerbau und Viehzucht. Dies könnte auch in Zukunft wieder der Fall sein. Heitzt sich die Erde aber zu sehr auf, dehnt sich die Wüste wieder aus.

feuchter“, sagt Claußen. Zum anderen bestimmt die Vegetation wesentlich die Bilanz an Kohlenstoff und Treibhausgasen. So nehmen Pflanzen bei Wachstum und Photosynthese große Mengen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Atmosphäre auf: „Holz ist nichts anderes als Kohlenstoff und der Wald ein großes CO<sub>2</sub>-Depot.“

Diese Effekte können sich je nach Art des Waldes addieren oder teilweise ausgleichen. Für das Klima ist es daher nicht unerheblich, ob Tropenwälder der Kettensäge zum Opfer fallen oder nördliche Nadelwälder. Wird tropischer Regenwald abgeholzt, steigt der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre. Zusätzlich nimmt der Wasserdampf in Bodennähe ab, es wird also lokal trockener und wärmer. Anders im Norden: Bei Abholzung bleibt zwar auch mehr CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zurück. Ist die flache Landschaft dann aber mit Schnee bedeckt, reflektiert sie mehr

### Nach der Invasion der Mongolen: Chinas Klima kühlte sich ab.

Licht als ein hoher schneebedeckter Wald – es wird kühler. Umgekehrt kann man sagen: Tropische Wälder kühlen das Klima, Wälder im Norden erwärmen es.

Lassen sich die Folgen des Klimawandels daher mildern, wenn wir Gebiete renaturieren und Wald wieder aufforsten? Möglicherweise, wie ein Beispiel aus Pongratz' Simulationen illustriert: Als die Mongolen im Mittelalter in China einfielen und große Landstriche entvölkerten, lag der Ackerbau für Jahrzehnte brach. Die natürliche Vegetation kehrte zurück und nahm entsprechend mehr Kohlendioxid aus der Luft auf, sodass sich das Klima dort abkühlte.

Aber ist ein Forst das Gleiche wie ein Naturwald? Während natürliche Wälder meistens viele Baum- und Pflanzenarten unterschiedlichen Alters beherbergen, sieht es im Forst mit regelmäßiger Altersstruktur und weniger Unterholz „ordentlicher“ aus. Welchen Einfluss dies auf



Der Bedarf an Ackerland dezimiert den Regenwald – mit globalen Folgen. Aber auch lokal ändert sich das Klima: Weil der Wasserdampf in Bodennähe abnimmt, wird es wärmer und trockener. Gleichzeitig können helle Flächen kühlend wirken, da sie mehr Sonnenenergie reflektieren.

die physikalischen Eigenschaften des Waldes hat, wird Julia Pongratz demnächst in Zusammenarbeit mit Professor Michael Köhl, dem Leiter der CliSAP-Arbeitsgruppe „Wald und Klima“, untersuchen.

Seit etwa 10.000 Jahren betreiben die Menschen Ackerbau und Viehzucht, seit Anfang des 19. Jahrhunderts besonders intensiv. Die Rekonstruktion dieser zeitlichen Entwicklung von Landnutzung und Vegetation ist eine Sisyphusarbeit. Eine wichtige Orientierung gibt die Bevölkerungsdichte, die teilweise überliefert ist: Je mehr Menschen eine Region bevölkern, desto mehr Nahrungsmittel benötigen sie und desto mehr Acker- und Weideflächen. Weitere Indizien liefern Archäologen und Geologen. „Mit Funden aus der Feldforschung überprüfen wir unsere Modelle“, sagt Martin Claußen.

Zum Beispiel im Fall Sahara: Die Atmosphären-Vegetations-Modelle des Hamburger Max-Planck-Instituts ➤



Entwaldung für Farmland, hier in Indonesien: Wo globaler Klimaschutz auf lokale Interessen trifft, können Konflikte entstehen.



Der tropische Regenwald beherbergt die höchste Artenvielfalt weltweit. Obwohl er nur rund sieben Prozent der Erdoberfläche bedeckt, leben hier bis zu 70 Prozent aller Tier- und Pflanzenarten.



Konfisziertes Holz wird streng bewacht. Mit der groß angelegten Aktion „Arc of fire“ im Jahr 2008 setzte die brasilianische Regierung ein Signal gegen illegale Abholzung im Amazonasgebiet.

### Holz ist nichts anderes als Kohlenstoff, der Wald ein großes CO<sub>2</sub>-Depot.

► zeigen, dass aufgrund von natürlichen Klimaschwankungen immer wieder Oasen und größere Grünflächen die Wüste durchzogen. Die letzte Grünphase ist etwa 5.000 bis 10.000 Jahre her. Auch Felsbilder bestätigen, dass Menschen einst Ackerbau und Viehzucht in der Sahara betrieben haben. Kalkablagerungen und Pollenfunde in Sedimenten lassen auf tierisches und pflanzliches Leben schließen. Claußens Kooperationspartner, der Kölner Geoarchäologe Dr. Stefan Kröpelin, hat darüber hinaus mitten im trockensten Teil der Sahara ein wahres „Klimaarchiv“ gefunden: Sedimentkerne vom Grund des Yoa-Sees im Nordosten des Tschad erzählen die Geschichte von Flora und Fauna der Region.

Je wärmer das Klima, desto grüner war die Sahara offenbar. Das heißt: Nicht nur die Vegetation beeinflusst das Klima, sondern von jeher bestimmt auch das Klima die Vegetation. Wie sieht dann die Zukunft angesichts der globalen Erwärmung aus? Wie nur an wenigen Forschungszentren sind die Atmosphären-Vegetations-Modelle der Hamburger Meteorologen dynamisch: Ändert sich in den Simulationen das Klima, ändert sich gleichzeitig die Vegetation. Claußens Modellrechnungen sagen demnach eine grüne Zukunft vorher: „Angenommen die Atmosphäre heizt sich um vier bis fünf Grad Celsius auf – das ist möglich, wenn wir weiterhin so viel Treibhausgas ausstoßen –, der Mensch nutzt das Land aber nicht intensiver als heute. Dann würde es auf der Erde grüner, auch in der Sahara“, erläutert der Meteorologe. Außerdem würden die Pflanzen mit mehr CO<sub>2</sub> „gefüttert“ und dadurch üppiger. „Wird das

Klima jedoch zu heiß und trocken dehnt sich die Sahara wieder aus und dann nützt auch die CO<sub>2</sub>-Düngung dort nichts mehr.“

Um den Wechselwirkungen von Land, Klima und Mensch weiter auf die Spur zu kommen, setzen die Hamburger Klimaforscher jetzt verstärkt auf Satellitendaten. „Wir wollen wissen, wie der Mensch das Land in Afrika, Europa oder Indien im Detail nutzt“, erläutert Claußen. Denn schwedische Wissenschaftler haben belegt: Nach einer Trockenphase in den 1980er-Jahren ist die Sahelzone grüner geworden, obwohl das Land gleichzeitig stärker bewirtschaftet wurde. „Die einfache Rechnung, Landnutzung gleich Zerstörung der Vegetation, ist offenbar so nicht richtig. Allerdings wissen wir nicht, welches Grün der Satellit sieht, also ob es sich um eine Wiese oder einen Wald handelt.“ In einem interdisziplinären CliSAP-Projekt unter Leitung von Professor Jürgen Scheffran aus der Friedensforschung soll darüber hinaus das Konfliktpotenzial zwischen Nomaden und sesshaften Bauern untersucht werden. Wie verändern sich außerdem die Lebensbedingungen der Menschen in Wüstenregionen, wenn massenweise Solaranlagen aufgestellt werden? Für diese Fragestellung arbeiten CliSAP-Forscher mit der DESERTEC Foundation zusammen, die ein solches Projekt in Nordafrika organisiert. ■

**Erwärmt sich die Erde um vier Grad Celsius, würde es grüner – auch in der Wüste.**



entwicklungen  
aufzeigen

## „Das können wir uns leisten“ Ökonomie des Klimawandels

Physiker und Klimaökonom Professor Hermann Held und Agrarökonom Dr. Uwe Schneider von der Forschungsstelle Nachhaltige Umweltentwicklung diskutieren über Kosten, Nutzen und Effektivität von Klimaschutz.



**Klimaschützer und Ökonomen sind sich nicht immer grün. Verfolgen sie so unterschiedliche Interessen?**

**Held:** Lange sahen sich beide Gruppen in gegensätzlichen Positionen. Klimaschützer wollten lieber heute als morgen die Zukunft retten. Ökonomen dagegen rechneten vor, dass das erstens Zeit hat, und zweitens nicht absehbar ist, ob das überhaupt etwas bringt. Allerdings hat die reine Kosten-Nutzen-Analyse in der Klimaökonomie Schwächen: Es ist schwer vorhersehbar, welche Klimaschäden wie viel kosten werden. Außerdem streiten Klimaökonominnen darüber, wie wir den Nutzen für künftige Generationen zu unseren heutigen Anstrengungen ins Verhältnis setzen sollen. Wenn wir aber die globale Erwärmung auf zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau beschränken wollen, müssten wir jetzt in ein neues Energiesystem investieren – obwohl wir den Nutzen vielleicht erst in 100 Jahren sehen.

**Zurzeit ist der Ausstoß von Treibhausgasen höher als in den finstesten Szenarien des Weltklimarates (IPCC) je angenommen. Werden uns die notwendigen Anpassungen ruinieren?**

**Held:** Wir brauchen zweierlei: Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und Strategien, ihn zu begrenzen – nach dem richtigen Mix fahnden wir. Wie viele Klimaökonominnen arbeiten wir am KlimaCampus Hamburg mit Kosten-Effektivitäts-Analysen und bringen so auch Nachhaltigkeit ins Spiel. In den gekoppelten Klima-Energie-Ökonomie-Modellen rechnen wir bislang nicht mit Klimaschäden, sondern mit Klimazielen. Was kostet es, das 2-Grad-Ziel einzuhalten, besonders unter großen Unsicherheiten? Was kosten neue Technologien? Und wie viel günstiger wird insbesondere Bioenergie bei Massenproduktion?

**Und wie teuer wird's?**

**Held:** Die Umstellung des Energie-

systems würde die Weltgemeinschaft jährlich etwa ein Prozent des gemeinsamen Bruttosozialprodukts kosten.

**Ist das viel oder wenig?**

**Held:** Darin sind sich Ökonomen nicht ganz einig. Die Mehrheit aber meint: Das können wir uns leisten – und so könnten Klimaschützer wie Ökonomen halbwegs zufrieden sein.

**Müssen wir uns zwischen Klimaschutz und Wirtschaftswachstum entscheiden?**

**Held:** Nein, die Aufwendungen für ein klimaneutrales Energiesystem würden das Wachstum nur um einige Monate verzögern. Außerdem geht es ja um ein wichtiges Ziel für uns alle: Da wir nicht genau wissen, welche Klimaschäden uns erwarten, wenn sich die mittlere Temperatur weltweit um mehr als zwei Grad Celsius erhöht, investieren wir in Vorsorgemaßnahmen.

**Schneider:** Wirtschaftswachstum wird immer noch am Bruttosozialprodukt >



Die Umstellung des Energiesystems würde die Weltgemeinschaft jährlich ein Prozent des gemeinsamen Brutto- sozialprodukts kosten.

## Auch wenn die Wirtschaft wächst, kann die gesellschaftliche Wohlfahrt stagnieren oder sinken.

► abgelesen. Ziel der Gesellschaft ist es aber nicht, dieses um jeden Preis zu steigern, sondern das Wohlbefinden der Menschen nachhaltig zu verbessern. Studien zeigen: Auch wenn das Brutto- sozialprodukt wächst, kann die gesellschaftliche Wohlfahrt stagnieren oder gar sinken. Robert F. Kennedy sagte schon 1968 in einer Rede an der Universität Kansas, dass das Brutto- sozialprodukt alles misst außer den Dingen, die das Leben lebenswert machen. Leider ist diese Erkenntnis noch nicht in die Politik eingeflossen.

**Wie lässt sich Schwellenländern wie Brasilien, China oder Indien erklären, dass Glück weniger am Wirtschaftswachstum als an nachhaltigem Klimaschutz hängt?**

**Held:** Im Moment ist das schwer. Denn

es berührt die Urangeist dieser Länder, wieder unter die Schwelle zurückzufallen. Wenn die Industrieländer aber zeigen würden, dass man das Energiesystem kostenneutral auf einen nachhaltigen Pfad umrüsten kann, ließe sich auch in den Schwellenländern etwas bewegen.

**Wie könnten die Industrieländer vorgehen?**

**Held:** Will Europa das 2-Grad-Ziel kosteneffizient umsetzen und dabei auf die Erneuerbaren setzen, braucht es schnell eine gute Energienetzstruktur. Es ist sinnvoll, im Sommer im Süden Solarenergie zu „ernten“, im Winter Windenergie im Norden und diese dann zu verteilen. Biomasse ließe sich als Puffer nutzen. Bislang diskutieren die europäischen Länder aber ernüchternd national.

Biogasanlagen sind umstritten: Zwar verbrennt das Gas klimaneutral, doch wird bei der Produktion der Pflanzen häufig zusätzliche Energie verbraucht.



Grundnahrungsmittel in Mexiko: Der Preis für eine Tortilla stieg in den letzten Jahren stark an, weil die USA die Ethanolgewinnung aus Mais fördern.

Eine Milliarde Menschen hungern – Biokraftstoff verteuert die Lebensmittel zusätzlich. Wenn die Nachfrage weiter ansteigt, können theoretisch jedoch auch ärmere Regionen profitieren: Der Wert der Agrarflächen sowie Preise und Einkommen steigen und die Ernährungssituation verbessert sich.



**Neue Technologien zur Energiegewinnung kosten viel Geld. Wer bezahlt das?**

**Held:** Der Energiesektor kostete schon immer Geld. Es geht um eine Umlenkung von Investitionen aus Wirtschaft und Staatskassen – weg von der Kohle, hin zu klimaneutralen Energien.

**Am Thema unterirdische CO<sub>2</sub>-Einlagerung scheiden sich die Geister: Die Gesellschaft fürchtet Risiken, die Wirtschaft zögert. Welche Rolle spielt diese Art von Klimaschutz?**

**Held:** Der notwendige Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energien könnte mit CO<sub>2</sub>-Verpressung sanfter verlaufen. Die Umrüstkosten würden

sich verringern. Wichtiger ist aber: Falls erneuerbare Energien bei Masseneinsatz unerwartet viel kosten oder Nebenwirkungen verursachen, könnte die Einlagerung von CO<sub>2</sub> eine Art Rückversicherung sein. Außerdem ist Bioenergienutzung mit anschließender CO<sub>2</sub>-Verpressung derzeit die einzige Technologie, mit der wir der Atmosphäre halbwegs kostengünstig Kohlendioxid entziehen können. Denn mindern wir die Emissionen in der ersten Hälfte des Jahrhunderts zu langsam – und dafür spricht derzeit einiges –, könnten wir in der zweiten Hälfte aufholen und das 2-Grad-Ziel noch erreichen.

**Welche Chancen stecken in Agrarenergie, also etwa Biogas oder Biosprit?**

**Schneider:** Die Landwirtschaft kann davon profitieren. Steigt die Nachfrage nach Bioenergie, dann steigen auch der Wert der Agrarflächen, die Preise für landwirtschaftliche Produkte und die Einnahmen der Landwirte. In Industrieländern könnte das die Abhängigkeit von Subventionen mindern.

**Aber ist Bioenergie auch gut fürs Klima?**

**Schneider:** Das kommt auf den Standort, die eingesetzte Technologie und die politischen Rahmenbedingungen an. Falsche Subventionen können zu einer negativen Energie- und Klimabilanz ►



Landnutzung kann negative Klimaeffekte erzeugen: Durch Rodungen gehen Waldflächen verloren, die den CO<sub>2</sub>-Haushalt stabilisieren. Muss der Regenwald einer Palmölplantage weichen, wird außerdem ein wichtiges Ökosystem zerstört.

► führen – man steckt mehr Energie hinein, als am Ende rauskommt. Außerdem entstehen bei der Landnutzung oft indirekte Klima-Effekte: So ist es zum Beispiel Unsinn, den Regenwald für Palmölplantagen abzuholzen oder abzubrennen. Bei der Brandrodung gelangen pro Hektar Hunderte Tonnen Kohlenstoff in die Luft. Außerdem werden wichtige Ökosysteme zerstört. Die Politik sollte alle wertvollen Altwälder und Ökosysteme global unter Schutz stellen.

**Eine Milliarde Menschen weltweit hungern. Biokraftstoff steht in der Kritik, die angespannte Ernährungssituation zu verschärfen. Zu recht?**

**Schneider:** Zum Teil ja. Allerdings

## Weltweit gibt es genug Lebensmittel, nur sind sie für viele Menschen zu teuer.

ist Hunger vor allem ein ökonomisches Problem. Weltweit gibt es genug Lebensmittel, nur sind sie für viele Menschen zu teuer. Gelingt es, durch Bioenergie die Einkommen der Landbevölkerung auch in armen Staaten zu steigern, kann sich die Ernährungssituation sogar verbessern.

### Verteuert Energie vom Acker die Lebensmittel?

**Schneider:** Leider ja. Nur landen in wohlhabenden Industrieländern viele Lebensmittel im Müll – sie sind also offenbar zu günstig. In den Entwicklungsländern dagegen können durchaus Notsituationen entstehen. Beispielsweise ist in den vergangenen Jahren in Mexiko der Preis für Tortilla, ein Grundnahrungsmittel der Mexikaner, zeitweilig stark gestiegen, weil die USA die Ethanolgewinnung aus Mais gefördert haben.

### Wer soll am Ende alles regeln? Die Politik oder kümmert der Markt sich selbst?

**Schneider:** Die Politik muss dafür sorgen, dass mögliche Schäden in die Entscheidungen von Firmen einfließen, indem sie Umweltziele vorgibt. Mit welchen Technologien diese zu erreichen sind, sollte aber weiterhin der Markt bestimmen.

### Warum hinkt dann der politisch angestoßene Emissionshandel?

**Held:** Zum einen sind in Europa einige Sektoren nicht beteiligt und Unternehmen verlagern „schmutzige“ Produktion ins Ausland. Zum anderen ist der Handel nicht zu Ende gedacht: Inwie-

weit kann Europa den Emissionshandel allein bestreiten, ohne sich zu schaden? Je mehr globale Akteure sich zu „Klimaschutz-Koalitionen“ zusammenschließen, umso ehrgeiziger können sie auch ohne Abkommen Klimaschutz umsetzen. Käme es dann doch zu einem weltweiten Abkommen, hätte Europa mit einem klimaneutralen Energiesystem einen wirtschaftlichen Vorteil. Wenn die Weltgemeinschaft aber nicht mitmacht, bescheren uns teure Energieformen volkswirtschaftliche Nachteile. Es wird daher auch darauf ankommen, ob Europa weitere Verbündete findet.

### Woran tüfteln Sie dazu hier im Exzellenzcluster?

**Held:** Wir untersuchen mithilfe von Modellen die Wechselwirkung zwischen Klimaänderung einerseits und Optionen der Agrar- und Energiepolitik andererseits. Wie beeinflusst der Klimawandel die Entwicklung von Bioenergie? Verändern sich die Landpreise? Wenn im Süden Landstriche verdorren, sollte man diese dann aus volkswirtschaftlicher Sicht mit Solarenergie „zupflastern“? Hyung Sik Choi, ein Doktorand in meiner Arbeitsgruppe, geht gerade dieser Frage nach.

### Wie viel Unsicherheit steckt in den Modellen?

**Held:** Die Unsicherheiten sind noch groß. Derzeit gibt es aus meiner Sicht keine überzeugende ökonomische Methode, die unter dem 2-Grad-Ziel zwei Dinge in Einklang bringt: Investitionssicherheit und neue wissenschaftliche Erkennt-



Wenn im Süden Landstriche verdorren, sollte man diese dann aus volkswirtschaftlicher Sicht mit Solarenergie „zupflastern“?

nisse, die uns zu Richtungsänderungen veranlassen könnten. Dies trägt zu einer Regulierungsunsicherheit bei, die Gift ist für Investitionen. Delf Neubersch, ebenfalls Doktorand in meiner Gruppe, und ich entwickeln gerade aus den etablierten Methoden ein kombiniertes Verfahren, das letztlich zu mehr Investitionssicherheit verhelfen soll.

### Das ist sehr theoretisch. Wo bleibt die praktische Anwendung?

**Held:** Wir überprüfen unsere Theorien anhand konkreter Fragen aus der Wirtschaft: Zum Beispiel arbeitet die Doktorandin Elena Mechik zusammen mit dem European Institute of Innovation and Technology an Geschäftsmodellen, die die Zerstörung des Regenwaldes verlangsamen. Master-Studentin Antje Schütz, die wir gemeinsam mit den Wirtschaftswissenschaftlern und den

ClisAP-Sicherheitsforschern betreuen, untersucht, warum einige Firmen Anstrengungen zur Vermeidung der globalen Erwärmung unternehmen und andere nicht. Wie investieren Firmen angesichts von Unsicherheiten? Was erwarten Investoren? Und die Doktorandin Martha Bolivar ist aus Kolumbien mit der Frage gekommen: Wie beeinflusst der Klimawandel Wassermangel und -management in ihrer Heimat? Wie lässt sich gegensteuern, etwa mit Staudämmen?

**Schneider:** Unsere Forschungsergebnisse fließen außerdem in die Politik ein. So hat die EU-Kommission mithilfe eines Projektes, an dem wir beteiligt waren, ihre Richtlinien zur Landnutzung im Zuge des Klimaschutzes aktualisiert. ■



Prof. Dr. Herrmann Held (oben) und Dr. Uwe Schneider überprüfen ihre Theorien anhand konkreter Fragen aus der Wirtschaft.



Seit 30 Jahren wird das Gras immer spärlicher, berichten tibetische Schäfer. Damit ihre Tiere satt werden, müssen sie heute viel größere Areale beweiden.



In Bhutan konnte der Ausbruch eines Gletschensees verhindert werden: In fünf Jahren Arbeit hatten 1.000 Arbeiter den Spiegel des kritischen Sees um fünf Meter gesenkt.

## Hotspot Himalaya

### Neues Projekt verzahnt die Fachbereiche

Beeindruckende Gletscher, genannt das „Dach der Welt“: Die Gebirge des Himalaya sind einzigartig und prägen die umliegenden Länder – geologisch, politisch und kulturell. Aber auch durch ihren Einfluss auf das Klima. Was wird der Klimawandel bringen?

Die Himalayagipfel gehören zu den höchsten Erhebungen der Erde. Damit bilden sie eine Barriere, die feuchte Luft vom Indischen Ozean blockiert und so eine wesentliche Rolle bei der Erzeugung der Monsun-Zirkulation auf dem indischen Subkontinent spielt. An der Nordseite wiederum werden Winde aus der Arktis daran gehindert, die Länder der Südseite zu kühlen.

Das Gletschereis speist große Flüsse wie den Indus, den Ganges und den Brahmaputra, auf deren Süßwasser die

umliegenden Länder angewiesen sind. Hier findet sich die Kornkammer der Region, eines der größten landwirtschaftlich genutzten Areale der Welt. Die Gletscher beeinflussen allerdings auch die Wasserversorgung in weiter entfernten Regionen Chinas und Zentralasiens.

Und der Klimawandel? Der Meteorologe Valerio Lucarini erwartet, dass sich die Dynamik des Monsuns ändert und damit Dürren und Überschwemmungen häufiger werden. Die Auswirkungen auf

die Massenbilanz von Gletschern sind nicht einheitlich: Während sie im östlichen Himalaya auf dem Rückzug sind, wächst dort, wo Niederschläge zunehmen und Temperaturen abnehmen, das Eis an. Mit dem am KlimaCampus entwickelten Modell PLASIM untersucht er die physikalischen Mechanismen in engem Austausch mit lokalen Experten. Mit Blick auf wichtige Einzugsgebiete der Region erforschen sie so den Wasserkreislauf in Südasien.

„Insgesamt wird sich der Klimawandel in dieser sensiblen Region deutlich auswirken“, sagt Professor Jürgen Scheffran. „ClISAP bietet die besondere Möglichkeit, den Hotspot aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten – und so ein größeres Bild entstehen lassen.“ Konfliktforscher Scheffran untersucht, wo der Klimawandel Krisenpotenzial erzeugt. Würde zum Beispiel das Trinkwasser knapp,

könnte dies zu Konkurrenzen unter den Anrainerstaaten führen. Wie könnten die umliegenden Staaten, zum Beispiel die Konfliktparteien Indien und Pakistan, gemeinsam auf die Herausforderungen reagieren? Was tut die Bevölkerung? Die Konfliktforschung ergründet, wovon es abhängt, dass Menschen vor Ort bestimmte Anpassungsstrategien entwickeln, während andere die Heimat verlassen.

Die Sozialwissenschaftlerin Giovanna Gioli, Gastforscherin bei ClISAP, untersucht die Verbindung von Klimawandel und Migration noch genauer. Neben Dürren und Überschwemmungen gefährden sogenannte „Glacial Lake Outburst Floods“ (GLOF) die Lebensbedingungen. In vielen Gletschenseen lässt die Eisschmelze den Wasserpegel massiv ansteigen, wodurch Geröllwände

unter der zusätzlichen Last plötzlich aufbrechen. Wenn durch die Umweltveränderung Ackerflächen, Weidegründe und Viehbestände eines Bergvolkes bedroht sind, so sind es meist Männer, die in anderen Regionen Arbeit suchen, um die Familie mit Geld zu unterstützen. Ganze Regionen müssen ihre herkömmliche Lebensweise ändern, mit tiefgreifenden Folgen für die Gesellschaft.

Das Forschertrio arbeitet eng mit Einrichtungen vor Ort zusammen. Hierzu gehören das „Sustainable Development Policy Institute“ (SDPI) in Islamabad in Pakistan und das 1983 gegründete Gebirgsforschungsinstitut „International Centre for Integrated Mountain Development“ (ICIMOD) in Nepal, dessen acht Mitgliedsländer rund um die Region des Himalaya und Hindukusch angesiedelt sind.



Verschlechtern sich die Lebensbedingungen, sind es meist die Männer, die in anderen Regionen Arbeit suchen – mit tiefgreifenden Folgen für die Gesellschaft.

Schön und gefährlich: Schwillt ein See durch die Gletscherschmelze zu stark an, reißen die Geröllwände. Am Hang lebende Bergvölker sind massiv gefährdet.



Wenn in Grönland der Eisanspanzer schmilzt, versinken nicht automatisch alle Küsten im Meer. Denn der Meeresspiegel steigt nicht überall gleich stark. Außerdem verändern menschliche Eingriffe und ganz natürliche Prozesse ebenso den Wasserpegel an einzelnen Küsten.

## Land unter – oder über?

### Was Küstenplaner wissen müssen



**M**it einem schwimmenden Pavillon fing alles an: Seit 2010 strömen die Besucher in den Rotterdamer Hafen zu drei Kuppeln auf Styroporplatten. Das futuristisch anmutende Bauwerk auf dem Wasser beherbergt eine Ausstellung über das Programm der Stadt zur Anpassung an den Klimawandel und ist zugleich dessen Paradebeispiel. Bis 2025 soll Rotterdam klimasicher sein – mit Häusern auf Pontons. Das ist Hollands Antwort auf den Anstieg des Meeresspiegels. Andernorts bauen die Menschen höhere Deiche oder ziehen von der Küste fort, um sich vor den Fluten zu schützen.

### Drei Dinge justieren den Meeresspiegel: Wasserbewegungen, Wärme und Masse.

Doch wie stark steigt der Meeresspiegel tatsächlich, wenn sich die Erde weiter aufheizt? Ozeanografen rechnen mit einem mittleren globalen Anstieg etwa von 50 Zentimeter bis zu einem Meter in den nächsten 100 Jahren. Derzeit messen Satelliten zirka drei Millimeter pro Jahr. Professor Detlef Stammer, stellvertretender Sprecher von ClISAP, betont jedoch: „Zwar hat sich in den vergangenen 50 Jahren der Anstieg beschleunigt. Kurzfristig aber kann der globale Meeresspiegel natürlicherweise stark schwanken und dadurch den langfristigen Trend zwischenzeitlich scheinbar abschwächen – wie es beispielsweise zu Beginn dieses Jahrhunderts der Fall war.“ Der Ozeanograph vom Institut für Meereskunde geht jedoch davon aus, dass vom Menschen verursachte Klimaveränderungen die Ozeane weiter anschwellen lassen.

Neben Wasserbewegungen durch Strömungen und Winde justieren vor allem zwei weitere Dinge den Meeresspiegel: Wärme und Masse. Die Weltmeere sind riesige Wärmespeicher. Erwärmt sich die Atmosphäre, steigt auch die Temperatur im Ozean und das Wasser dehnt sich aus. Darüber hinaus bringen schmelzende Gletscher und Polkappen zusätzliches Wasser ins Meer. „In den vergangenen Jahren ist der Wärmegehalt des Ozeans zwar nur wenig gestiegen, dafür schmilzt der grönländische Eisschild der-

zeit schneller ab. Das Abschmelzen kann sich aber auch wieder verlangsamen“, erläutert Stammer. Denn das Eis passt sich an: Wenn es an den Hängen der Gletscher abgeflossen ist und vom Gletscherdach her kein Eis mehr durch Schneefall „nachwächst“, verlangsamt sich das Abfließen wieder. Genau das passiert gerade an einigen Stellen in Grönland: Das große Schmelzen am Ostrand der Insel hat nachgelassen, aber am Westrand läuft noch reichlich Wasser ins Meer.

Wie viel Gletscher und polare Eiskappen tatsächlich zum Meeresspiegelanstieg beitragen werden, ist keine einfache Rechnung. Denn das Abfließen lässt sich nicht ohne Weiteres beobachten und vorausberechnen. Hier gibt derzeit vor allem die Antarktis Rätsel auf: Nimmt die Eismasse dort zu oder ab? Während es im Westen taut, rührt sich im Osten anscheinend nichts – oder kommt sogar Schnee hinzu? Diese Fragen müssen geklärt werden. Auch Grönland verliert unterhalb von 1.000 Metern Masse, gewinnt aber in höheren Lagen dazu. „Für den globalen Meeresspiegel ist allein die Summe beider Prozesse wichtig“, sagt Detlef Stammer.

**Auch eine Antwort auf den steigenden Meeresspiegel: das schwimmende Zuhause.**



Was wäre, wenn Grönlands Eis komplett abschmilzt? Die Nordseeküste bliebe vermutlich unverändert, während bei Norwegen das Wasser sogar zurückweichen könnte.

In Klimamodellen ist dies aktuell noch nicht ausreichend berücksichtigt. Zwar lässt sich anhand der Temperaturprognosen das Abschmelzen von Landeis simulieren und das Wasser dem Meeresspiegel hinzurechnen. Aber was geschieht, wenn die Erde sich stärker erwärmt als erwartet? Wie stark mischt das Frischwasser den Ozean auf? Schmelzwasser ist Süßwasser. Es verringert die Dichte des Meerwassers und verändert damit die Strömungen. Zunächst lokal, dann im gesamten Ozean. Dort stiftet das frische Wasser viele Jahrhunderte lang Unruhe, haben Forscher herausgefunden. Der Ozean braucht eben lange, um die Dichteveränderungen auszugleichen – vorausgesetzt es fließt kein Schmelzwasser mehr nach. Gemeinsam mit Kollegen will Stammer mehr Licht in das Zusammenspiel von Eisschmelze und Meeresspiegelanstieg bringen und die Klimamodellrechnungen sowie Vorhersagen verfeinern.

Jedoch bedroht das Anschwellen der Ozeane nicht alle Menschen gleichermaßen. „Der Meeresspiegel steigt regional sehr unterschiedlich. Das wurde bislang nur stiefmütterlich behandelt, ist aber wichtig für den Küstenschutz“, betont Stammer. Gefährdet sind niedrig gelegene Küstenebenen, Deltabereiche und Inseln – wie etwa die pazifischen und karibischen Inseln, Küstenbereiche in

Westeuropa, Äquatorialafrika und Südostasien. Küsten sind darüber hinaus sehr dicht besiedelt, viele Megacities sind am Wasser gebaut. Fast ein Viertel der Weltbevölkerung lebt maximal 100 Kilometer von der Küste entfernt und weniger als 100 Meter über dem Meeresspiegel. „Auf diese Regionen müssen wir unser besonderes Augenmerk richten“, sagt der Ozeanograf, „und dabei kurzfristige natürliche Schwankungen von langfristigen Veränderungen unterscheiden.“ Beispielsweise ist in den vergangenen 15 bis 20 Jahren im westlichen Pazifik der Meeresspiegel stark gestiegen. Über 50 Jahre betrachtet konnten die Klimaforscher diesen Trend aber nicht bestätigen.

### Das Anschwellen der Ozeane bedroht nicht alle Menschen gleichermaßen.

Anders in Bangladesch: Hier steigt der Meeresspiegel langfristig und deutlich schneller als beispielsweise in den Niederlanden. Der Grund: Durch Bewegungen in der Erdkruste sinkt das Land leicht ab. Außerdem münden hier ➤



Schmelzwassersee in Grönland: Im Westen der Insel läuft noch reichlich Wasser ins Meer, am Ostrand lässt das Schmelzen nach.



Grönlands Eis schmilzt zurzeit schnell. Wenn aber durch wenig Schneefall kein Eis mehr auf dem Gletscher „nachwächst“, verlangsamt sich der Prozess.

## Wenn China ein Staubecken füllt, bremst dies den Anstieg des Meeresspiegels.

Geesthacht haben bislang zwar keine Belege dafür geliefert, dass die globale Erwärmung häufiger zu stärkeren Sturmfluten führt. „Aber wir haben Anzeichen dafür, dass mit dem Meeresspiegel der Scheitelpunkt einer Sturmflut steigt“, sagt Stammer.

Letztlich ist der Ozean nur ein Teil des Ganzen. Auch das Wasser an Land, also Seen, Flüsse und das Grundwasser, sowie menschliche Eingriffe in die Wassersysteme „spielen“ mit dem Meeresspiegel. Wenn China ein großes Staubecken füllt, dann steigt der globale Meeresspiegel nachweislich für eine gewisse Zeit weniger stark. Wird massiv Grundwasser entnommen oder lagert sich in Flüssen vermehrt

Sediment ab, macht sich dies regional ebenfalls an den Küsten bemerkbar. Stammer ist überzeugt: „Wollen wir den Anstieg des Meeresspiegels verstehen und daraus geeignete Maßnahmen für regionalen Küstenschutz ableiten, müssen wir alles zusammenführen: die Dynamik von Eis und Ozean, Wassersysteme und -transporte an Land, Plattenbewegungen und Kontinentaldrift, Bevölkerungsentwicklung, wirtschaftliche und politische Überlegungen. Dabei wirkt jeder einzelne Effekt zeitlich und räumlich.“ Eine Herkulesaufgabe, für die die interdisziplinäre Ausrichtung der Hamburger Klimaforscher ein gutes Fundament bildet. ■

► drei gewaltige Flüsse in den Indischen Ozean, die immer wieder über die Ufer treten. Darüber hinaus können Wirbelstürme und Monsunregen Überschwemmungen verstärken. Hier macht also ein Mix aus natürlichen Phänomenen und möglichen Folgen des Klimawandels den Menschen das Leben schwer. Nur ist Bangladesch im Gegensatz zu den Niederlanden bettelarm und besitzt weder moderne Deiche, geschweige denn schwimmenden Wohnkomfort. Steigt der Meeresspiegel dort um einen Meter, steht ein Fünftel des Landes unter Wasser.

Es ist ohnehin ein Irrtum, dass der Ozean eine ebene Wasserfläche ist. Vielmehr bestimmen die unterschiedliche Massenverteilung in Erdmantel und Erdkruste sowie Bewegungen der Erdplatten den Meeresspiegel an den Küsten. Auf eine einfache Formel gebracht: Masse zieht Masse an. Was heißt das nun für das Sorgenkind Grönland? Ein Gedankenexperiment: Wenn Grönlands Eispanzer komplett abschmilzt, dann verliert die Insel deutlich an Masse und damit an Anziehungskraft. Der Meeresspiegel würde dadurch sinken – aber nicht nur um Grönland herum, sondern mehr oder weniger stark im ganzen nördlichen Atlantik. Bei Norwegen ginge das Wasser zurück, an den Nordseeküsten würde der Pegel vielleicht unverändert

bleiben. Leidtragende wären die Menschen im Indischen Ozean, im Pazifik, in Südamerika und Afrika.

Was Grönland möglicherweise noch bevorsteht, ist in Skandinavien bereits geschehen: Nach der jüngsten Eiszeit hat die Halbinsel durch das Abschmelzen der Gletscher so viel Masse verloren, dass sich das Land heute noch hebt und der Meeresspiegel dort entlang der Küste sinkt. Im Gegenzug senkt sich seitdem die deutsche Bucht, derzeit etwa einen Millimeter im Jahr, und der Meeresspiegel steigt im Verhältnis gesehen. Denn die Deutsche Bucht liegt mit Skandinavien auf einer „wippenden“ Erdplatte.

### Steigt der Scheitelpunkt von Sturmfluten?

„Es hilft Küstenplanern nicht, sich nur am globalen Meeresspiegelanstieg zu orientieren“, sagt Detlef Stammer. „Stattdessen werden wir für den gesamten Globus Atlanten erstellen, die die regionalen Einflüsse berücksichtigen. Auch Sturmfluten, denn diese Extremereignisse gefährden Küsten am meisten.“ Studien von Stammers Kollegen Professor Hans von Storch am Helmholtz-Zentrum



Der Ozean ist nur ein Teil des Ganzen. Auch Flüsse, Seen und das Grundwasser beeinflussen den Meeresspiegel.

# Klimawandel – ein Medienspektakel?

## Geburt eines Topthemas

Der Klimawandel prangt weltweit auf Titelblättern, läuft in den Nachrichten und ist auch längst in die Tiefen des World Wide Web vorgedrungen. Hamburger Kommunikationswissenschaftler untersuchen, wie Medien das Bild des Klimawandels in der Gesellschaft prägen und Klimapolitik und -forschung beeinflussen.



**W**er sich bei Google durch alle Einträge zu „climate change“ klicken will, kommt zu nichts anderem mehr. Rund 950 Millionen Mal taucht der Begriff dort auf, das deutsche Pendant „Klimawandel“ durchbrach kürzlich die 6-Millionen-Marke, Tendenz weiter steigend. Alle Welt redet, schreibt und streitet über die globale Erderwärmung und ihre Folgen.

Rund um den Globus sind Klimaveränderungen in den vergangenen Jahren zum Topthema in den Medien geworden. Das haben Professor Mike S. Schäfer und seine

ClISAP Research Group „Media Constructions of Climate Change“ nachgewiesen. Die Wissenschaftler haben einschlägige Artikel großer Tageszeitungen in 23 Ländern auf allen Kontinenten ausgewertet. Von 1996 bis 2010 hat beispielsweise die „Süddeutsche Zeitung“ allein rund 6.900 Artikel zum Klimawandel gedruckt – durchschnittlich mehr als einen Beitrag pro Ausgabe. Spitzenreiter ist die australische Zeitung „The Australian“ mit etwa 14.000 Artikeln – fast drei pro Ausgabe. Auffällig: In den vergangenen fünf Jahren berichteten die Medien weltweit vier-

bis achtmal häufiger über den Klimawandel als Ende der 1990er-Jahre.

„Das Beispiel Australien verdeutlicht, in welche Richtung sich die Berichterstattung verändert hat“, sagt Schäfer. „Da die Energieversorgung des Landes stark von Kohle abhängt, spielt der Klimawandel dort seit 2006 eine zentrale Rolle im Wahlkampf. Er ist also ein politisches Thema.“ Mit dem naturwissenschaftlichen Hintergrund von Klimaänderungen beschäftigen sich Journalisten dagegen heute kaum mehr als früher. Sie koppeln das

Thema allerdings häufiger an politische und wirtschaftliche Fragen.

Schäfers Untersuchung zeigt auch, dass die deutschen Medien ähnlich ticken. Während mögliche Folgen des Klimawandels, wie Überschwemmungen, nur leicht die Aufmerksamkeit der Medien erhöhen, steigt die Zahl der Artikel schlagartig rund um internationale Klimakonferenzen oder wenn der Weltklimarat (IPCC) seinen neuesten Bericht veröffentlicht. Nach derartigen Ereignissen kann sie allerdings auch wieder in den Keller sinken, gerade wenn Medien >



► und Leser „übersättigt“ sind, wie nach dem gewaltigen Medienrummel um den Klimagipfel 2009 in Kopenhagen.

Aber kommt die Informationsflut bei den Bürgern auch an? Laut Eurobarometer 2011 sehen die Hälfte der Europäer den Klimawandel als die größte globale Bedrohung an, in Deutschland sogar zwei Drittel. „Das ist sicherlich auch ein Medieneffekt“, sagt Schäfer. Allerdings mündet dieses Bewusstsein nicht unbedingt in persönliches Handeln. „Es ist schwer zu vermitteln, dass wir jetzt handeln müssen. Denn Klimawandel ist nicht greifbar, seine Folgen weit weg, und vom Klimaschutz profitieren vielleicht erst unsere Urenkel.“

Stattdessen bereiten andere Gefahren den Menschen oft größere Sorgen, besonders in Entwicklungsländern. Beispiel Bangladesch: Das Land in Südostasien ist von Klimaänderungen stark bedroht. Steigt der Meeresspiegel weiter, kann es dort noch häufiger als bisher zu großen Überschwemmungen kommen, die zudem immer weiter ins Land vordringen. Dennoch fürchten die Menschen nicht etwa die globale Erwärmung – sondern beispielsweise Tiger, die eine konkrete tägliche Gefahr darstellen. An Überschwemmungen dagegen sind die Menschen in Bangladesch gewöhnt.

In Deutschland und anderen Industrieländern ist die globale Erwärmung mit all ihren Konsequenzen längst ein Politikum geworden – auch durch die Starthilfe meinungsstarker Gazetten. „Die Medien haben den Klima-

wandel zwar nicht erfunden, ihn aber auf die Agenda der Politik gehievt“, sagt Kommunikationswissenschaftler Mike S. Schäfer. Als die Deutsche Physikalische Gesellschaft 1986 erstmals vor einer „drohenden weltweiten Klimakatastrophe“ warnte, schaltete die politische Führung zunächst auf Durchzug. Erst als „Der Spiegel“ auf seinem Titel den Kölner Dom in den Fluten versinken ließ und immer mehr Medien über die „Klimakatastrophe“ berichteten, begann sich in den Regierungen etwas zu regen.

### Klimaforscher und Journalisten haben viel Kontakt.

So wie die Medien Politik beeinflussen, greifen sie auch in die Wissenschaft ein? Fakt ist: Klimaforscher und Journalisten sind sich näher gekommen. Schäfer und seine Kollegen haben festgestellt, dass 70 Prozent der Klimawissenschaftler – Doktoranden wie Professoren – mindestens einmal im Jahr mit Journalisten sprechen. Über so viel Nachfrage können sich sonst nicht einmal Stammzellforscher freuen. Auch die Zeiten „verschurbelter Erklärungen“ im schönsten Fachchinesisch sind offenbar vorbei. Klimaforschung ist zwar nach wie vor sehr komplex, doch die meisten Wissenschaftler sind heute bereit, ihre Ergebnisse für die breite Öffentlichkeit verständlich zu formulieren, zu vereinfachen und mit praktischen Anwendungen zu illustrieren.

Erst durch den „Spiegel“-Titel und andere Berichte zur Klimakatastrophe bewegte sich die Politik.



Grundsätzlich klingeln Journalisten häufiger bei etablierten Forschern an, dabei ist der Nachwuchs offener gegenüber den Medien. Und hier wird es für Schäfer interessant: Schleift sich die Medienorientierung der Jüngeren ab, je weiter sie die Karriereleiter emporsteigen? Oder haben die jungen Wissenschaftler andere Werte, die die Wissenschaft verändern werden? „Wenn die Tendenz zu mehr Medienorientierung erhalten bleibt, dann müssen wir auch über Grenzen reden“, sagt Schäfer. „Einige Klimaforscher befürchten, dass sehr medienpräzente Wissenschaftler mehr Forschungsgelder erhalten, schneller auf einem Lehrstuhl landen oder ihre Veröffentlichungen leichter durchgewinkt werden.“ Dadurch würde dann mit Kraft der Medien das Gewicht einzelner Fachgebiete in der Klimaforschung tatsächlich steigen.

Welche Rolle neue Medien, wie Blogs und Foren, oder soziale Netzwerke in der Kommunikation über den Klimawandel spielen, will die Arbeitsgruppe von Schäfer jetzt ebenfalls untersuchen. „Gerade Social Media ist sehr spannend: Werden soziale Netzwerke zum Beispiel von Nichtregierungsorganisationen strategisch eingesetzt und was bewirkt das?“ Außerdem wollen die Kommunikationswissenschaftler den Kriterien für die Glaubwürdigkeit von „Expertenmeinungen“ im Social Web nachspüren – nicht überall, wo Experte draufsteht, dürfte Experte drin sein. ■

Blogs, Foren, soziale Medien – wo sind die Grenzen für seriöse Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler?



### Die Umfrage

Mit 1.130 Teilnehmern aus den Natur- und Sozialwissenschaften ist die ClISAP-Studie bis heute die umfangreichste Befragung deutscher Klimawissenschaftler. Sie wurde zwischen November 2010 und Januar 2011 online durchgeführt, mit Unterstützung der Gesellschaft für Konsumforschung (GfK).

Fast drei Viertel der Forscher hatten demnach im vergangenen Jahr Kontakt mit Zeitungen, Fernsehen, Radio oder Internetmedien – weit mehr als in anderen wissenschaftlichen Disziplinen. Mehr als zehn Medienkontakte hatte dabei allerdings nur eine kleine Gruppe (weniger als ein Prozent), meist erfahrene Professorinnen und Professoren mit vielen Publikationen. Die Initiative geht dabei überwiegend von den Redaktionen aus. Die meisten Wissenschaftler sind gern bereit, Ergebnisse zu erklären oder mediengerecht zu vereinfachen – nicht aber von wissenschaftlichen Standards abzurücken. Erkenntnisse weiterzugeben, bevor diese von Fachkollegen geprüft und begutachtet sind, ist nach wie vor verpönt. Auch bei politischen Empfehlungen sind viele eher zurückhaltend.

Tendenziell scheinen junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gegenüber Medienvertretern aufgeschlossener – ein Generationswechsel oder eine Einstellung, die sich mit zunehmendem Karrierefortschritt relativiert?



Auch eine Methode: Durch die Algen-suspensionen im Beutel werden Abgase eines benachbarten Braunkohlekraftwerks geleitet. Die Kleinen Helfer sollen CO<sub>2</sub> abbauen und so die Emissionen „entschärfen“.

## Wohin mit dem CO<sub>2</sub>?

### Einflüsse auf Atmosphäre, Land und Meer

Neue Klimarechnungen beziehen erstmals den komplexen Kreislauf des Kohlenstoffs ein – und die künftige Entwicklung der Vegetation: Nicht nur die Temperaturen steigen, auch die Ozeane versauern schneller als gedacht.

Auf der Erde sind gigantische Mengen Kohlenstoff im Umlauf: als CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre. In Form von Biomasse, nachdem Pflanzen das Treibhausgas in ihren Stoffwechsel eingebaut haben. Und im Ozean, wo das Kohlendioxid im Meerwasser gelöst ist beziehungsweise den Organismen in Form von Carbonat als Baustoff für ihre Kalkskelette dient. Gleichzeitig verwandeln Milliarden von Planktonalgen auch hier Kohlendioxid in Biomasse. Nach ihrem Tod werden die biologischen Verbindungen dann wieder abgebaut, vereinigen sich mit Sauerstoff und kehren als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zurück. Der Kreislauf beginnt von Neuem.

Alle diese Prozesse – an Land, in den Ozeanen und in der Atmosphäre – in ein mathematisches Modell zu fassen, ist außerordentlich schwierig. Und als wäre dies nicht genug, kommen weitere Variablen hinzu. So schleust der Mensch immer mehr Kohlenstoff in den Kreislauf, der bis dato als Erdöl, Erdgas und Kohle quasi „untätig“ in der Tiefe lagerte. Außerdem ändert sich die Verteilung der Vegetation und damit ihre Kapazität, Kohlendioxid zu binden und zu speichern. Zum Beispiel, wenn im Zuge der globalen Erwärmung ganze Landstriche verdorren oder umgekehrt die Sahara plötzlich zu ergrünen beginnt.

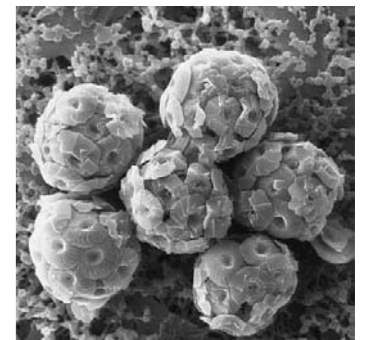
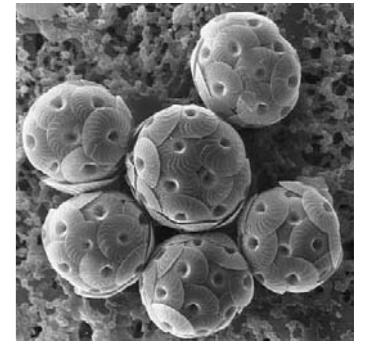
**Auf dem Meeresboden, im Ozeanwasser gelöst, in Baum und Strauch und in der Atmosphäre: Kohlenstoff ist überall.**

Hamburger Wissenschaftlern ist das Kunststück aber gelungen: „Unsere Berechnungen setzen den Kreislauf des Kohlenstoffs erstmals mit der künftigen Entwicklung der Vegetation und des Meeresplanktons in Beziehung. So können wir die Verhältnisse in der Zukunft realistisch abbilden und gleichzeitig eine entscheidende Lücke in bestehenden Modellen schließen“, berichtet Dr. Christian Reick vom Max-Planck-Institut für Meteorologie. Für das 21. Jahrhundert zeichnet sich demnach neben der globalen Erwärmung auch eine rasche Versauerung der Ozeane ab.

Denn das Meer nimmt zwar große Mengen CO<sub>2</sub> auf und wirkt so als Puffer

für den Klimawandel. Gleichzeitig sinkt dadurch aber der pH-Wert, das Meer wird saurer. Darunter leiden Muscheln, Korallen und andere „Kalkbildner“, deren Gerüstsubstanz brüchig wird. Es droht der Kollaps ganzer Lebensgemeinschaften.

Diese ersten Ergebnisse sind Teil eines ganzen Bündels von Berechnungen, die in den vergangenen zwei Jahren vom Max-Planck-Institut für Meteorologie gemeinsam mit dem Deutschen Klimarechenzentrum durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurden. Sie fließen unter anderem in den nächsten Weltklimabericht ein, der 2013 erscheint. ■



Je mehr CO<sub>2</sub> der Ozean aufnimmt, desto mehr versauert er – und zerstört Kalkskelette von Algen. Oben die Alge *Calcidiscus leptoporus* bei heutigem CO<sub>2</sub>-Wert. Unten mit zerstörter Schale im Meerwasser des Jahres 2100, sollten die Emissionen unvermindert anhalten.

#### Weltklimarat und IPCC-Berichte

Das „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) der Vereinten Nationen, häufig auch als Weltklimarat bezeichnet, ist vor allem durch seine offiziellen Berichte bekannt. Diese fassen alle fünf bis sechs Jahre den aktuellen Wissensstand zu Klimaänderungen und globaler Erwärmung zusammen, beurteilen mögliche Risiken, entwickeln Vermeidungs- und Anpassungsstrategien. Das IPCC beruft dafür renommierte Wissenschaftler als Autoren. Forscherkollegen aus aller Welt achten derweil als unabhängige „Review Editors“ darauf, dass alle

Aspekte berücksichtigt und neutral bewertet werden. Auch Hamburger Forscher sind regelmäßig als Autoren oder Reviewer dabei. Die „IPCC Assessment Reports“ sind Grundlage der weltweiten Diskussion über den Klimawandel, sie liefern Entscheidungshilfen für Politik und Wirtschaft. In die Kritik geriet das IPCC im Jahr 2007, als Unstimmigkeiten und Fehler im letzten Bericht gefunden wurden. Seitdem sind Entstehung und Kontrolle der Inhalte noch strengeren Kriterien unterworfen.

# klimatechnologie vorantreiben



Work-Life-Balance, Slow Science – ein Gespräch mit den Professoren Beate Ratter vom Institut für Geografie und Michael Köhl vom Institut für Weltforstwirtschaft, die im Exzellenzcluster für Gender-Fragen zuständig sind.

## Beruf oder Berufung?

### Arbeiten und Leben in der Forschung

**Ist Wissenschaft Ihr Traumberuf, Frau Ratter?**

**Ratter:** Ja! Ich kann mir die Arbeit selbst einteilen, habe abwechslungsreiche Aufgaben und lehre gern. Aber es gibt auch Schattenseiten, vor allem die hohe Arbeitsbelastung, der Druck von außen und der hohe Verwaltungsaufwand.

**Expeditionen, Kongresse, Exkursionen – Sie sind viel unterwegs. Was sagt Ihre Familie dazu, Herr Köhl?**

**Köhl:** Meine Frau ist ebenfalls berufstätig. Wir haben unsere Arbeits- und Lebenswelten gut getaktet und uns ein starkes Netzwerk aufgebaut. Trotzdem bringen unvorhergesehene Dinge den Tagesablauf immer wieder durcheinander, ungeplante Besprechungen etwa oder besondere Anliegen unserer Töchter. Vor allem das Reisen erfordert sehr viel Organisation. Da müssen wir auch die Nachbarin bitten oder meine Schwiegermutter einfliegen lassen.

**Hätten Sie manchmal gern ein ruhigeres Leben?**

**Köhl:** Neue Forschungsprojekte, Betreuung von Studenten, Besprechungen mit Kollegen und Mitarbeitern – das hält schon auf Trab. Aber ich habe eine Weile in der Industrie gearbeitet, das war dafür weniger spannend.

**Papa, chill mal wieder!**

**Ratter:** Ich hätte gern weniger Stress von außen. Der Dauerbeschuss mit E-Mails ist anstrengend.

**Haben Sie eine persönliche Strategie, dem Stress entgegenzuwirken?**

**Ratter:** Ich habe mir vorgenommen, dieses Jahr nur noch fünf Tage die Woche zu arbeiten.

**Köhl:** Meine Töchter erinnern mich immer wieder genüsslich daran: Papa, chill mal!

**Junge Wissenschaftler müssen sich erst etablieren. Können sie es sich überhaupt erlauben, zwischenzeitlich kürzerzutreten?**

**Ratter:** Das ist eine zweischneidige Angelegenheit. Drei meiner Doktorandinnen haben nach der Promotion die Universität verlassen, weil sie nicht so arbeiten wollten wie ich. Zwei von ihnen sind jetzt Mutter und Hausfrau.

**Unter den CliSAP-Doktoranden gibt es etwa gleich viele Männer und Frauen. In höheren Karrierestufen liegt das Männer-Frauen-Verhältnis aber bei 3:1. Warum?**

**Köhl:** Einerseits sind das „Altlasten“ aus einer Zeit, in der nur wenige Frauen nach dem Studium in der Wissenschaft geblieben sind. In CliSAP versuchen wir deshalb, bereits bei den Doktoranden ausgeglichene Verhältnisse herzustellen. Andererseits kommen in dieser Phase oft Kinder und noch immer sind es eher >



## Slow Science – weg von schnellen Veröffentlichungen, mehr Zeit zum Reflektieren.

► die Frauen, die dann kürzertreten. Der Spagat zwischen Karriere und Familie ist fast nicht machbar. Auch gesellschaftlicher Druck spielt eine Rolle – berufstätige Mütter werden immer noch stigmatisiert, es gibt zu wenig Kinderbetreuung ...

**Ratter:** ... und zu viel Old-Boys-Networking unter Kumpeln aus Studienzeiten. Darüber hinaus mangelt es in den naturwissenschaftlichen Disziplinen der Klimaforschung leider grundsätzlich an Frauen.

### Frauen steigen also aus und Männer machen fleißig Karriere.

**Köhl:** Was letztlich auch den Mann belastet: Dieses Ungleichgewicht stellt viele Partnerschaften auf eine harte Probe.

**Ratter:** Naja, nicht alle Männer leiden unter dem Karriereknick ihrer Partnerinnen. Ich lese immer noch sehr oft im Vorwort von Doktorarbeiten: Ich danke meiner Frau dafür, dass sie mir immer den Rücken gestärkt hat ...

### Wird sich der Frauenmangel durch Generationswechsel auswachsen?

**Ratter:** Nicht, solange sich das Bewusstsein nicht ändert. Gesellschaftliche Stigmatisierung, Familienwunsch und die Ellenbogengesellschaft an der Universität halten viele Frauen von einer Karriere in der Wissenschaft ab. Hier sehe ich keinen einschneidenden Wandel, lediglich ein paar Leuchttürme mehr als früher.

**Köhl:** Es gibt erschreckend viele junge Männer mit einem traditionellen Rollenverständnis. Das muss sich ändern.

### Es herrscht großer Druck, zum Beispiel möglichst viele Forschungsergebnisse zu veröffentlichen. Steht hier Quantität gegen Qualität?

**Ratter:** Man sollte sich ein Weniger erlauben. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fordert seit 2011 nur noch

Prof. Dr. Beate Ratter forscht zur Sozioökonomie des Küstenraums.



Prof. Dr. Michael Köhl leitet die Arbeitsgruppe „Wald und Klima“.



fünf Publikationen im Antrag auf Forschungsgelder. Das ist ein wichtiger Schritt, weil damit ein Umdenken hin zu mehr Qualität einsetzt. In der Geografie haben wir einen Arbeitskreis, der sich mit „Slow Science“ beschäftigt – weg von schnellen Veröffentlichungen, stattdessen mehr Reflektieren, Diskutieren, Nachdenken. Dennoch sind wir in der Mühle drin: Wer wenig veröffentlicht, wird abgestraft.

### Junge Wissenschaftler stehen zudem unter dem Druck der Unsicherheit. Nirgendwo gibt es so viele befristete Stellen wie in der Forschung.

**Ratter:** Klar, das belastet Nachwuchsforscher. Eine Lebenszeitstelle für Doktoranden ist aber keine Lösung. Es wäre zu verführerisch, dann die Beine hochzulegen. Aber man muss schon Idealist sein, um in der Wissenschaft zu arbeiten.

**Köhl:** ... und immer nach rechts und links schauen. Wer sich mit Scheuklappen nur dem eigenen Thema widmet, wird nach der Promotion schwerlich eine Stelle finden. Auf dem Weg an die Spitze der Wissenschaft fängt der Kampf dann erst richtig an – und dort beginnt oft Verbissenheit. Das ist keine gute Entwicklung.

### Juniorprofessoren kommen früh in eine Führungsposition. Wie werden sie darauf vorbereitet?

**Ratter:** Gar nicht. Gerade fertig mit der Ausbildung sollen junge Wissenschaftler plötzlich Professor sein: mit voller Leistung, aber ohne feste Stelle oder die Rechte eines Professors.



## Bekommt eure Kinder, wenn ihr studiert. Das ist die beste Zeit dafür.

### Was ließe sich ändern?

**Köhl:** Zum Beispiel die Juniorprofessur mit einem „Tenure-Track“ wie in den USA ausstatten, also einer Art Bewährung für eine Professur auf Lebenszeit. In sechs Jahren Juniorprofessur muss man alles geben, um danach eine Dauerstelle zu bekommen. Eigentlich bleibt da keine Zeit, eine Familie zu gründen.

### Aber wann sollen Wissenschaftlerinnen dann Kinder bekommen?

**Ratter:** Bekommt eure Kinder, wenn ihr studiert. Das ist die beste Zeit dafür. Als Studentin hat man mehr Zeit und ist flexibler.

**Köhl:** Dann geht das Kind aber zur Schule, wenn die eigentliche Karriere

beginnt. Unser Bildungssystem ist leider darauf angelegt, dass ein Kind meist nur dann erfolgreich ist, wenn es zu Hause unterstützt wird.

**Ratter:** Also da kann ich nur sagen: Die Universität ist ein Spiegel der Gesellschaft. Eltern, die den ganzen Tag in der Fabrik stehen, haben das gleiche Problem.

### Darf man Halbtagswissenschaftler sein?

**Köhl:** Einerlei ob halbe oder volle Stelle – es zählen nur Publikationen, Forschungsprojekte und Kongressbesuche. Das muss sich ändern.

**Ratter:** Wenn wir einmal spekulieren: Warum nicht die Teilzeitprofessur einführen? Mit halber Lehrverpflichtung, halb so vielen Publikationen und Vorträgen.

**Köhl:** Das würde mehr Freiraum schaffen. Nur gibt es zwei Wege, die wissenschaftliche Karriere von Frauen zu behindern: sie an Haus und Herd binden oder in Gremien und Kommissionen schicken. Wenn lediglich 15 bis 20 Prozent der Professuren mit Frauen besetzt sind, diese aber überall zu 50 Prozent vertreten sein müssen, dann sitzen Frauen künftig nur noch in Besprechungen – während ihre Karriere nicht weiterkommt.

### Frauen müssen sich also weiterhin zwischen Kind und Karriere entscheiden?

**Köhl:** An der Universität haben wir eigentlich gute Voraussetzungen gegenzusteuern, denn Gleichstellung und Work-Life-Balance zählen noch etwas. In der freien Wirtschaft sieht es oft anders aus.

**Ratter:** Es ist eine Frage der Einstellung ►

### Mit Baby zum Kongress

„Als ich an das Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, USA) ging, war unser Sohn sechs Wochen alt und mein Mann hatte gerade einen spannenden Job in Hamburg bekommen. Gemeinsam haben wir entschieden: Wir versuchen beides. Nur so können wir feststellen, ob es funktioniert. Also bin ich mit unserem Sohn in die USA geflogen. Ein gutes Jahr sind wir gegendelt, bis mein Mann Elternzeit nehmen und zu uns ziehen konnte.“

Seit vier Jahren arbeiten und leben wir in Hamburg, inzwischen mit zwei Kindern. Aus meiner bisherigen Erfahrung kann ich sagen: Wissenschaftlich zu arbeiten und Kinder zu haben, erfordert Organisation. Nicht jeder Plan geht auf, vieles lässt sich nicht vorhersehen, aber manches passt: Noch bevor meine jetzige Stelle überhaupt ausgeschrieben war, habe ich hier Kindergärten besichtigt. Aber nur solche, die auch Säuglinge betreuen. Ein Jahr später erhielt ich den Ruf nach Hamburg und wurde schwanger.

Mein Mann und ich holen abwechselnd die Kinder ab und halten uns gegenseitig den Rücken frei. Wichtige Termine legen wir möglichst nicht parallel, damit wir flexibel auf ungeplante Ereignisse reagieren können. Auf Tagungen begleitet meine Familie mich oft: Als die Kinder noch sehr klein waren, gab es eben Vorträge im Tragetuch statt Einschlafmusik. Jetzt dienen die Posterstände auf Kongressen als Fußballtore. Ich bin gespannt, wie es mit größeren Kindern wird – bisher nehmen wir alle Herausforderungen mit wissenschaftlichem Ehrgeiz: Das muss doch irgendwie zu lösen sein.“

### Johanna Baehr, 36 Jahre

Die Ozeanografin leitet seit 2009 die ClISAP Research Group „Datenassimilation im Klimasystem“. Nach ihrer Promotion an der Universität Hamburg arbeitete Johanna Baehr zwei Jahre in den USA. Sie ist verheiratet, ihre beiden Kinder gehen in den Kindergarten.



### Valerio Lucarini, 36 Jahre

Seit 2011 leitet der Physiker und Meteorologe die Professur für „Theoretische Meteorologie“ an der Universität Hamburg. Vorher forschte er in Russland, Finnland, den USA und in England. Er ist mit einer Sozialwissenschaftlerin verheiratet, die in der Forschungsgruppe „Klimawandel und Sicherheit“ am KlimaCampus arbeitet. Sie stammt wie Lucarini aus Italien.

### Karriere im Gleichschritt

„E-Mails um drei Uhr nachts. So haben meine Frau und ich die Distanzen zwischen unterschiedlichen Städten in Europa, Asien und den USA überbrückt. Für Wissenschaftler ist es eine riesige Herausforderung, Beruf und Familie in Einklang zu bringen. Deadlines, Konferenzen, Projekte und dabei vor Ort und international ständig präsent sein – das Pensum ist kaum zu schaffen. Für befristete Stellen müssen wir uns immer wieder in ein neues Umfeld einleben. Das ist sehr inspirierend, kostet aber Zeit und Kraft.“

Da wir beide Wissenschaftler sind, kennen wir die Situation des anderen – das hilft im Alltag. Da wir jetzt gemeinsam in Hamburg arbeiten, können uns noch besser auf die Forschung konzentrieren.

Für Paare in der Wissenschaft ist eine gemeinsame Perspektive wichtig. Durch das Dual Career Programm von ClISAP haben wir in Hamburg schnell Fuß gefasst. Auch das Hamburger Welcome-Center hat uns sehr unterstützt – denn allein die Behördengänge sind eine Wissenschaft für sich.“

### Kompromisse statt Lösungen

„Erst einmal auf Probe sollte unser Umzug an die Elbe vor drei Jahren sein. Wenn wir nicht richtig ‚angekommen‘ wären, wollten wir wieder zurück nach Berlin gehen. Inzwischen haben wir uns aber gut eingelebt, unser Sohn hat eine Schwester bekommen, meine Arbeit macht mir Spaß. Meine Freundin und ich arbeiten etwa gleich viel – auch in der Kinderbetreuung und im Haushalt.“

Einerseits passen Wissenschaft und Familie gut zusammen, denn mein Job ermöglicht viel Flexibilität. Andererseits lassen sich das Arbeitspensum sowie längere Tagungsbesuche und Auslandsaufenthalte schlecht mit der Familie vereinbaren. Entsprechend kann ich nicht überall mitmischen. Bei Dienstreisen muss oft meine Mutter aus Franken anrücken oder Freunde unterstützen uns. Am Ende gibt es keine optimale Lösung, sondern Kompromisse.

Doch diese Schwierigkeiten kennen andere Berufsgruppen auch. In Deutschland hat sich das Modell ‚Doppelverdiener mit gleichberechtigter Partnerschaft und Kindern‘ noch nicht durchgesetzt, auch wenn sich hier etwas bewegt. Familiäre Auszeiten sind nicht nur oft erklärungsbedürftig, sondern auch eine Karrierebremse. Als positives Rollenvorbild könnten Wissenschaftler aber gesellschaftliche Normen setzen: Das Private ist politisch!“



### Andreas Schmidt, 33 Jahre

Seit 2010 promoviert der Soziologe in der ClISAP Research Group „Media Constructions of Climate Change“. Er studierte in Bremen und Berlin und lebt jetzt mit seiner Partnerin und zwei kleinen Kindern in Hamburg.

## Vielleicht hilft auch eine E-Mail-Sperre am Sonntag.

➤ und des Willens. Man muss nicht immer erreichbar sein und das sollten wir auch nicht von unseren Mitarbeitern erwarten.

### Aber wer knackt dann dieses System?

**Köhl:** Wir alten Hasen müssen den Nachwuchs bei der Karriere intensiver unterstützen. Das beginnt mit kleinen Dingen. Dass man etwa bemerkt, wenn ein Mitarbeiter sich verrennt. Ergänzend könnten stärkere Netzwerke unter den jungen Wissenschaftlern helfen, Engpässe bei der Kinderbetreuung zu überbrücken und sich gegenseitig zu unterstützen.

**Ratter:** Diese Solidargemeinschaften brauchen wir auch als Gegengewicht zu den Old-Boys-Networks. Vielleicht hilft auch eine E-Mail-Sperre am Sonntag. Wir könnten auch Sitzungen vor 16 Uhr



Sitzungen nur bis 16 Uhr, das diszipliniert. Danach einkaufen, Kinder abholen.

beenden. Gerade wir in unseren festen Positionen sollten auf Jüngere Rücksicht nehmen. Sitzungen brauchen außerdem grundsätzlich einen definierten Zeitrahmen, eine Tagesordnung und ein Protokoll. Das diszipliniert und verleitet weniger zu langen und wiederholten Diskussionen. Wer noch einkaufen oder die Kinder abholen muss, hat die Zeit im Kopf.

**Köhl:** Meistens werden Sitzungen in die Länge gezogen, weil zwar schon alles gesagt ist, aber noch nicht von jedem. ClISAP könnte ein Leuchtturm des Gender-Mainstreaming werden. Diese Strategie für Chancengleichheit von Frauen und Männern wird von einer überwältigenden Mehrheit getragen. Mit einer Gender Task Force können wir Defizite in der praktischen Umsetzung beheben. ■



## Ein Physiker in der Biologie

### Klimaforschung ohne Barrieren



Doktorand Sebastian Sonntag und Professorin Inga Hense haben ein Ziel: Mit Physik und Biologie wollen sie herausfinden, wie stark Algenteppe das Klima verändern können.

Ohne pflanzliches Plankton als Nahrungsgrundlage ist Leben im Meer undenkbar. Die winzigen Kieselalgen, Grünalgen, Dinoflagellaten und Co. beeinflussen außerdem unser Klima. Einerseits nehmen sie bei der Photosynthese Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf. Andererseits produzieren manche Arten Treibhausgase. Zudem verändern die Winzlinge die optischen und mechanischen Eigenschaften des Wassers. Bleibt die Frage: Ist das jetzt Biologie oder Physik?

Es ist beides. Deshalb hat Professorin Inga Hense in ihre CiSAP Research Group „Fortentwicklung gekoppelter Klima-Ozean-Ökosystemmodelle“ Sebastian Sonntag geholt. Der Physiker arbeitet seit Sommer 2009 bei der Biologin an seiner Doktorarbeit. „Gerade im Klimasystem gibt es viele Wechselwirkungen

– zwischen biologischen, chemischen und physikalischen Prozessen. Wenn wir diese verstehen wollen, müssen wir über Fächergrenzen hinweg denken und forschen“, sagt Inga Hense.

Das wollte auch Sebastian Sonntag, als er sich nach einer Promotionsstelle umschaute: „Ich hätte in vielen Disziplinen Modelle entwickeln können, aber die Kopplung von Physik und Biologie im Klimasystem hat mich besonders gereizt.“ Ausschlaggebend war für ihn außerdem, dass die Promotionsstelle in den interdisziplinären Exzellenzcluster mit der Graduiertenschule SICCS eingebettet ist. „Ich fühle mich genau am richtigen Platz, weil hier Wissenschaftler aus ganz unterschiedlichen Fächern zusammenkommen.“

Sonntag ist, wie er selbst sagt, kein Hardcore-Physiker. Schon während

seiner Diplomarbeit begab er sich auf „Abwege“ – und beschrieb mit Modellen biochemische Prozesse in Zellen. Das weckte sein Interesse für die Biologie. „In dieser Zeit habe ich gelernt, wie man komplexe biologische Systeme in Modellen vereinfacht darstellen kann“, sagt Sonntag. Und das ist der Knackpunkt: Vereinfachung. „Biologen und Physiker gehen ganz unterschiedlich an Fragen heran“, sagt Inga Hense. „Während Biologen eher die Komplexität der Natur herausarbeiten, versuchen Physi-

ker nun herausfinden, wie stark solche Effekte zu Buche schlagen – und ob sie für Klimavorhersagen wichtig sind oder aber so unbedeutend, dass man sie in großen, globalen Modellen vernachlässigen kann. Denn die gleiche positive Rückkopplung wird in Gang gesetzt, wenn die Ozeantemperaturen aufgrund der globalen Erwärmung steigen.

Die Komplexität von Inga Henses Thema hat Sebastian Sonntag trotz erster Erfahrung in der Biologie anfangs auf eine harte Probe gestellt. „Man

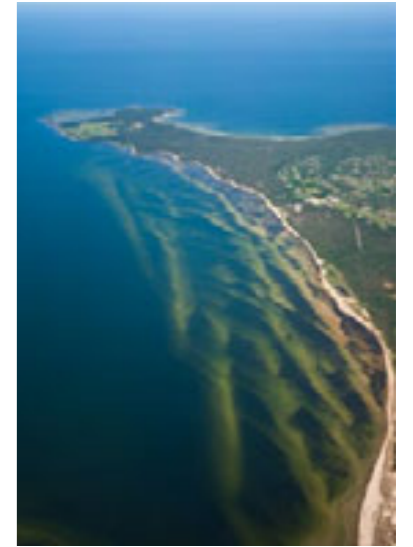
### Pflanzliches Plankton nimmt Lichtenergie auf und kann dadurch das Wasser erwärmen.

ker, deren Komplexität auf das Wesentliche zu reduzieren. So lassen sich biologische Prozesse besser verstehen.“ Physiker seien deshalb gute Modellierer, auch wenn es eigentlich um biologische Prozesse geht.

Und das ist jetzt die Aufgabe von Sebastian Sonntag. In Modellen beschreibt er die physikalisch-biologischen Rückkopplungen im Ozean: Pflanzliches Plankton nimmt Lichtenergie auf und kann dadurch das Wasser erwärmen. Manche Algenarten wachsen dann besser, treiben an die Wasseroberfläche, nehmen dort noch mehr Licht auf, erwärmen das Wasser weiter und wachsen noch besser. So können dicke Algenteppe entstehen, die außerdem die Vermischung des Wassers in den oberen Ozeanschichten abschwächen können. Sonntag will

beschreibt eben ein Ökosystem mit verschiedenen Lebewesen und Nährstoffkreisläufen anders als die Reaktion zweier Moleküle miteinander.“ Auch in die Klimamodelle musste sich der Physiker erst hineindenken. „Doch ich wusste immer, ich kann mich gut in Neues einarbeiten.“

Über den eigenen Tellerrand zu schauen, ist das tägliche Brot einer interdisziplinären Forschungsgruppe. Auch deshalb hat sich Professorin Inga Hense eine „bunte Truppe“ zusammengestellt: Ihre Mitarbeiter kommen nicht nur aus der Physik, sondern auch aus der Physikalischen Ozeanografie, den Marinen Umweltwissenschaften und aus der Meteorologie. „Es ist sehr reizvoll, aus verschiedenen Richtungen an unsere Fragen heranzugehen. So lernen wir täglich voneinander“, sagt >



Algenblüten wie hier vor der Küste Estlands (oben) trüben nicht nur das Strandvergnügen, sie sind auch „klimarelevant“.

Wirken ganz harmlos: Cyanobakterien (unten) in 40-facher Vergrößerung.

Kommunikation ist das A und O – wir lernen täglich voneinander.

► Hense. Gleichzeitig erfordert das Zeit: „Wir reden und diskutieren oft, müssen uns gegenseitig viel erklären. Jeder muss sich außerdem mit den Denkweisen der anderen Disziplinen auseinandersetzen.“ So dauerte es einige Monate, bis anfängliche Barrieren über-

„Es gibt Begriffe, die in unterschiedlichen Fächern jeweils etwas ganz anderes bedeuten. Wird das nicht aufgelöst, redet man schnell aneinander vorbei.“ Und vergibt eine große Chance: Denn wer seine Sicht erläutern muss, stolpert schneller über Schwachstellen in der



Prof. Dr. Inga Hense leitet die Arbeitsgruppe zu gekoppelten Klima-Ozean-Ökosystemmodellen, Sebastian Sonntag promoviert bei ihr.

wunden waren und die junge Forschergruppe einen gemeinsamen Nenner gefunden hatte. „Tatsächlich gibt es Vorurteile gegenüber anderen Disziplinen. Es ist wichtig, sich dessen bewusst zu sein, um Vorbehalte abzubauen“, sagt Inga Hense aus ihrer Erfahrung.

Die größte Hürde fachübergreifender Arbeit ist die Kommunikation. Jedes Fachgebiet hat seine eigene Sprache. „Die Gefahr, sich misszuverstehen, ist groß, wenn man nicht aufeinander zugeht“, sagt Sebastian Sonntag. Dazu gehöre beispielsweise auch, die Bedeutung einzelner Wörter zu klären.

eigenen Denkweise – und stellt auch vermeintliche Dogmen der eigenen Disziplin gelegentlich auf den Prüfstand.

Welche Chance Sebastian Sonntag nach der Promotion ergreifen wird, weiß er noch nicht. Aber so viel ist klar: Er hat in der Klimaforschung Blut geleckt. „Mein aktuelles Thema wird mit der Doktorarbeit nicht abgehakt sein. Außerdem gibt es in den Klimawissenschaften noch so viele spannende Fragen zu beantworten – aus unterschiedlichsten Richtungen.“ ■

## Der Exzellenzcluster im Überblick

### Struktur des Clusters

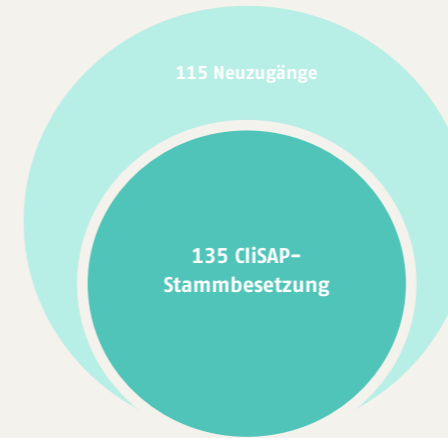
Der Exzellenzcluster CliSAP bündelt und vernetzt seit 2007 die Hamburger Klimaforschung. Beteiligt sind die Universität Hamburg (18 Institute), das Max-Planck-Institut für Meteorologie, das Helmholtz-Zentrum Geesthacht und das Deutsche Klimarechenzentrum. Natur- und Geisteswissenschaften sind dabei eng verknüpft. Rund um den Cluster sind die Partnerinstitute in den letzten Jahren zum KlimaCampus zusammengewachsen. Gemeinsam genutzt werden Infrastrukturelemente wie das Datenzentrum, die Modellentwicklung, Großgeräte wie der Grenzschicht-Windkanal sowie die Informationstechnologie.



- 1 **Universität Hamburg (UHH)**, Edmund-Siemers-Allee 1, 20146 Hamburg
- 2 **Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M)**, Bundesstraße 53, 20146 Hamburg
- 3 **Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)**, Max-Planck-Straße 1, 21502 Geesthacht
- 4 **Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ)**, Bundesstraße 45a, 20146 Hamburg

#### Beteiligte Institute der Universität Hamburg

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>5 Centrum für Globalisierung und Governance</li> <li>Historisches Seminar</li> <li>Institut für Allokation und Wettbewerb</li> <li>Institut für Bodenkunde</li> <li>Institut für Ethnologie</li> <li>Institut für Journalistik und Kommunikationswissenschaft</li> <li>Institut für Makroökonomie und Wirtschaftspolitik</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>7 Biozentrum Grindel</li> <li>8 CliSAP-Office, Graduiertenschule SICSS</li> <li>9 Carl Friedrich von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung</li> <li>Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg</li> <li>10 Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft</li> <li>11 BioZentrum Flottbek</li> <li>12 Zentrum Holzwirtschaft</li> </ul> |
|--|---|



### Mehr kluge Köpfe für Hamburg

Mit 135 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern startete der Exzellenzcluster im Oktober 2007. Seitdem sind zehn neue wissenschaftliche Arbeitsgruppen entstanden. IT-Spezialisten, Techniker und ein zentrales Office unterstützen die Arbeit. Heute tragen 250 „Participating Researchers“ zum Erfolg des Clusters bei.

- 2013
- 2007

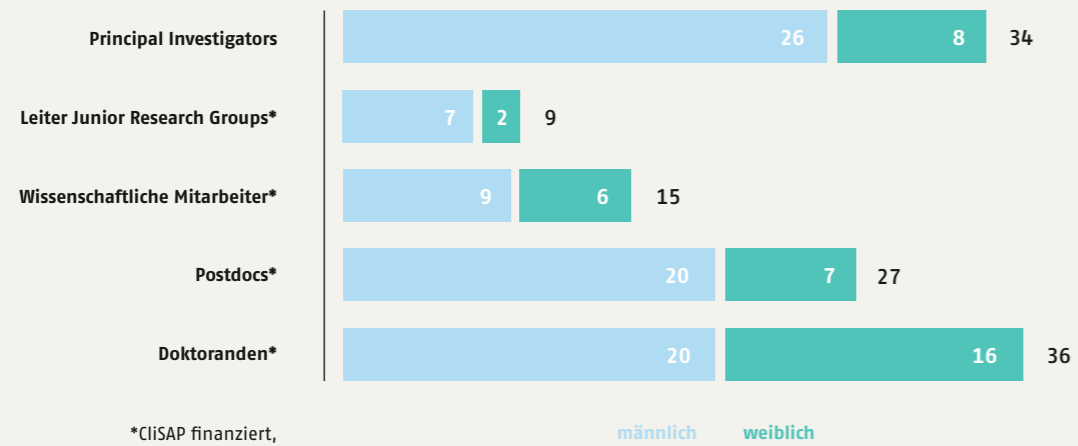
### Konzentriert in die nächste Phase

Von 2007 bis 2012 wurde CliSAP im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder gefördert. Aufgrund der positiven Evaluierung entschied die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) dann im Sommer 2012, den Hamburger Cluster weitere fünf Jahre, bis 2017, zu unterstützen.

Für diese zweite Förderperiode haben die CliSAP-Forscherinnen und -Forscher ihre Arbeiten fokussiert. Im Mittelpunkt stehen:

- Klimavariabilität und Vorhersagbarkeit, wichtige Feedback-Mechanismen sowie der globale und der regionale Anstieg des Meeresspiegels
- regionale Ausprägung des Wandels, Meereis und Permafrost in der Arktis, veränderte Monsunmuster, Klimawirkung von Vegetation und Landnutzung
- Konflikte an sogenannten Hotspots des Klimawandels, Dürren, wirtschaftliche und soziale Unsicherheit, Medien und öffentliche Meinung

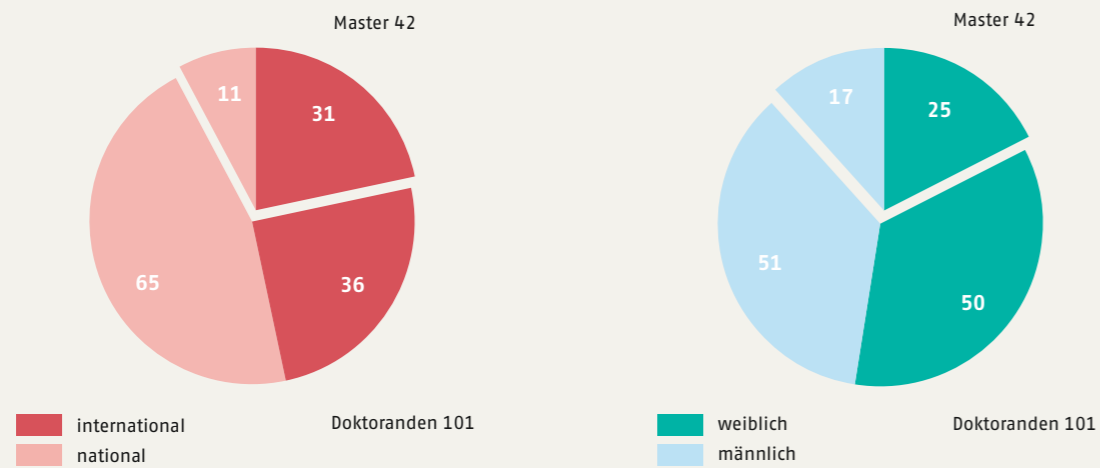




\*CliSAP finanziert,  
Stand: 11.03.2013

#### Starke Forschungsmannschaft

Durch CliSAP wurde die aktive Forschungsarbeit wesentlich verstärkt. Insbesondere wurden zahlreiche Stellen für Doktoranden und Postdocs geschaffen. Eingebunden in die Research Groups des Clusters greifen deren Arbeiten wie Puzzleteile ineinander.



#### Der Nachwuchs: international und weiblich

Die „School of Integrated Climate System Sciences“ (SICSS) bietet ein Master- und ein Doktorandenprogramm. Unterrichtssprache ist Englisch, denn ein Drittel der Doktoranden und knapp drei Viertel der Masterstudierenden kommen aus dem Ausland. Gleichzeitig sind die Hälfte der Doktoranden und deutlich mehr als die Hälfte der Masterstudierenden weiblich.

## Impressum

#### Herausgeber

Exzellenzcluster CliSAP  
KlimaCampus, Universität Hamburg

#### Konzept und Redaktion

Daniela Schmidt, Hamburg, wissen-und-worte.de  
Ute Kreis, CliSAP-Office  
Stephanie Janssen, CliSAP-Office

#### Gestaltung

HAAGEN design

#### Auflage

2.500

#### Bildnachweis

picture alliance/C. Rehder (Titel, S. 25), UHH/KlimaCampus/D. Ausserhofer (S. 1, S. 19, S. 38, Rücktitel), Photocase/kallejipp (S. 4, S. 34, S. 39, S. 40), UHH/KlimaCampus/T. Wasilewski (S. 6), UHH/KlimaCampus/F. Brisc (S. 7), WWF-Brasil/J. Pereira (S. 8/9), iStockphoto/D. Vukelic (S.10), iStockphoto/P. Poendl (S. 11), REUTERS/P. Whitaker (S. 11, S. 18), Wikimedia/Schlegel (S. 12), Wikimedia/C. Ziegler (S.12), AFP/A. Scorza (S. 12), Photocase/mary-imwunderland (S. 14), Fotolia/VRD (S. 15), J. Gläscher (S. 16), Fachagentur Wachsende Rohstoffe e.V. (S. 16), iStockphoto/J. Pauls (S. 17), UN Photo (S. 17, S. 17), Wikimedia/Craig (S. 18), Siemens-Pressbild (S. 19), UHH/KlimaCampus/M. Zapf (S. 19, S. 28/29, S. 31, S. 38, S. 42), Agentur Focus/S. McCurry (S. 20), D. Drukpa/DGM/Business Bhutan (S. 20), UHH/KlimaCampus/G. Gioli (S. 21), J. Kargel/University of Arizona (S. 21), picture alliance/O. Panagiotou (S. 22/23), Hülsman & Thieme, Architekten (S. 24), K. Schou (S. 26), REUTERS/B. Strong (S. 26), REUTERS/J. Shaw (S. 27), Der SPIEGEL (S. 30), picture alliance/B. Tissen (S. 32), U. Riebesell/GEOMAR (S. 33), Photocase/Lia (S. 36), UHH/KlimaCampus (S. 36, S. 36, S. 39), Photocase/simonthon (S. 37), E. Pakhomov, B. Hunt/UBC (S. 40), Wikimaedia/R. Rada (S. 41), iStockphoto/N. Nehring (S. 41), UHH/KlimaCampus/I. Preuss (Rücktitel)