



Der Ozean ist kein Wasserglas

Zehn Klimaforscher berichten

Ein Lesebuch des Hamburger KlimaCampus



Der Ozean ist kein Wasserglas

Zehn Klimaforscher berichten

Inhalt

4	Landnutzung
10	Meeresspiegel
16	Stadtklima
21	Chemie der Atmosphäre
26	Fischereiwissenschaft
32	Klimakonflikte
38	Wolken
42	Mikroalgen
47	Verwitterung
52	Regionalmodelle

Klimageschichten ...

Neue Erkenntnisse aus der Klimaforschung? „Spannend!“, sagen die einen. „Bestimmt kompliziert“, argwöhnen die anderen – und fürchten lange Erklärungen und verwirrende Diagramme. Tatsächlich haben beide Seiten recht: Kaum ein anderes Wissenschaftsfeld hat in den letzten Jahren derart an Bedeutung gewonnen. Und ja, die Fragen sind komplex. Nicht ohne Grund sind für Klimarechnungen „Supercomputer“ im Einsatz.

Trotzdem: Man muss kein Experte sein, um sich für Klimaforschung zu interessieren. Gemeinsam mit dem Hamburger Abendblatt haben wir eine Serie ins Leben gerufen, in der Wissenschaftler des KlimaCampus über ihre Arbeit berichten. Zehn der Beiträge finden Sie in diesem Heft – ohne Fachchinesisch und gut verständlich.

Wussten Sie zum Beispiel, dass der Meeresspiegel nicht überall auf der Welt gleichmäßig steigt? Dass Wolken die Atmosphäre aufheizen oder kühlen – je nachdem, wo sie sich befinden? Und dass der Klimawandel mitentscheidet, welchen Fisch wir künftig auf dem Teller haben? Dies alles können Sie hier nachlesen.

Wir wünschen eine interessante Lektüre!



„Kleiner Klimawandel“ schon vor der Industrialisierung

Klimatisch vorbelastet: Der Mensch beeinflusst das Klima nicht erst, seit er massiv Öl und Kohle verbrennt, sondern bereits seit Jahrhunderten – indem er Wälder in Ackerland umwandelt ...

Wer über Klimawandel spricht, der spricht auch über CO₂. Denn je mehr Kohlendioxid wir durch Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle in die Atmosphäre entlassen, umso mehr heizt diese sich auf. Weniger präsent ist den meisten von uns, welche Rolle die Landnutzung dabei spielt. Entwaldung etwa, wie sie derzeit großflächig in den Tropen geschieht, erhöht die vom Menschen verursachten Emissionen um ein Viertel. Andererseits gleichen Pflanzen etwa ein Drittel der jährlichen Gesamtemissionen aus, indem sie bei der Photosynthese CO₂ aufnehmen. Für die Klimaforschung ergeben sich daraus zwei Fragen: Lassen sich die Folgen des Klimawandels dämpfen, indem wir Gebiete renaturieren? Was passiert, wenn landwirtschaftliche Flächen weiter wachsen und die Wälder schrumpfen?

Auf ein überraschendes Ergebnis ist dabei kürzlich eine junge Wissenschaftlerin am KlimaCampus gestoßen,

Julia Pongratz vom Max-Planck-Institut für Meteorologie. Am Großrechner simulierte sie den Kohlenstofffluss zwischen Vegetation, Atmosphäre und Ozean vom Jahr 800 bis 1850. In diesem vorindustriellen Zeitalter wurden noch kaum fossile Energieträger verbrannt und die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche war die einzige vom Menschen gemachte Störung des Klimasystems. Der Bedarf an Ackerflächen war jedoch enorm, denn die Weltbevölkerung verdreifachte sich in dieser Zeit auf rund eine Milliarde Menschen.

Tatsächlich zeigen die Rechnungen, dass die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs abnahm, je mehr die Landwirtschaft die Waldflächen verdrängte. Dabei schlägt zu Buche, dass Wälder deutlich mehr Kohlenstoff speichern als Wiesen oder Getreidefelder. Und obwohl der Ozean einen Teil des entstehenden Kohlendioxids aufnimmt, zeigt das Modell einen deutlichen Anstieg des atmosphärischen CO₂ – quasi einen „kleinen Klimawandel“.

Durch natürliche Schwankungen ist die Zunahme nicht zu erklären – allerdings ist die Menge rechnerisch auch nicht ausreichend, um weltweit für steigende Temperaturen zu sorgen. Regional dürften die Effekte der Landnutzung jedoch durchaus spürbar gewesen sein, wenn auch teilweise mit entgegengesetzter Wirkung: Helle Gras- und

Ackerflächen reflektieren zum Beispiel mehr Sonnenstrahlung als dunkler Wald und haben dadurch lokal oft einen kühlenden Effekt.

Dass es klimatische Veränderungen gab, schon bevor die Menschen Kraftwerke, Autos und Kühlschränke hatten, bedeutet für die aktuelle Diskussion jedoch keine Entwarnung. Im Gegenteil: Offenbar sind wir schon mit einer gewissen „klimatischen Vorbelastung“ ins industrielle Zeitalter gegangen.

Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, wie wichtig eine räumlich und zeitlich detaillierte Betrachtung solcher Klimaszenarien ist: In den mittleren und hohen Breiten wird durch Aufforstung viel Sonnenstrahlung aufgenommen, sodass sich die Atmosphäre eher aufheizt. In den Tropen dagegen haben Wälder zusätzlich eine hohe Verdunstung und kühlen die Atmosphäre eher ab.

Die Frage, ob wir durch Aufforstung Positives bewirken können, muss daher unterschiedlich beantwortet werden. Erfreulicherweise hat die Klimaforschung hier große Fortschritte gemacht, sodass wir auch solche Effekte in unseren Modellen abbilden können.

Prof. Martin Claußen ist Professor an der Universität Hamburg und Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie.



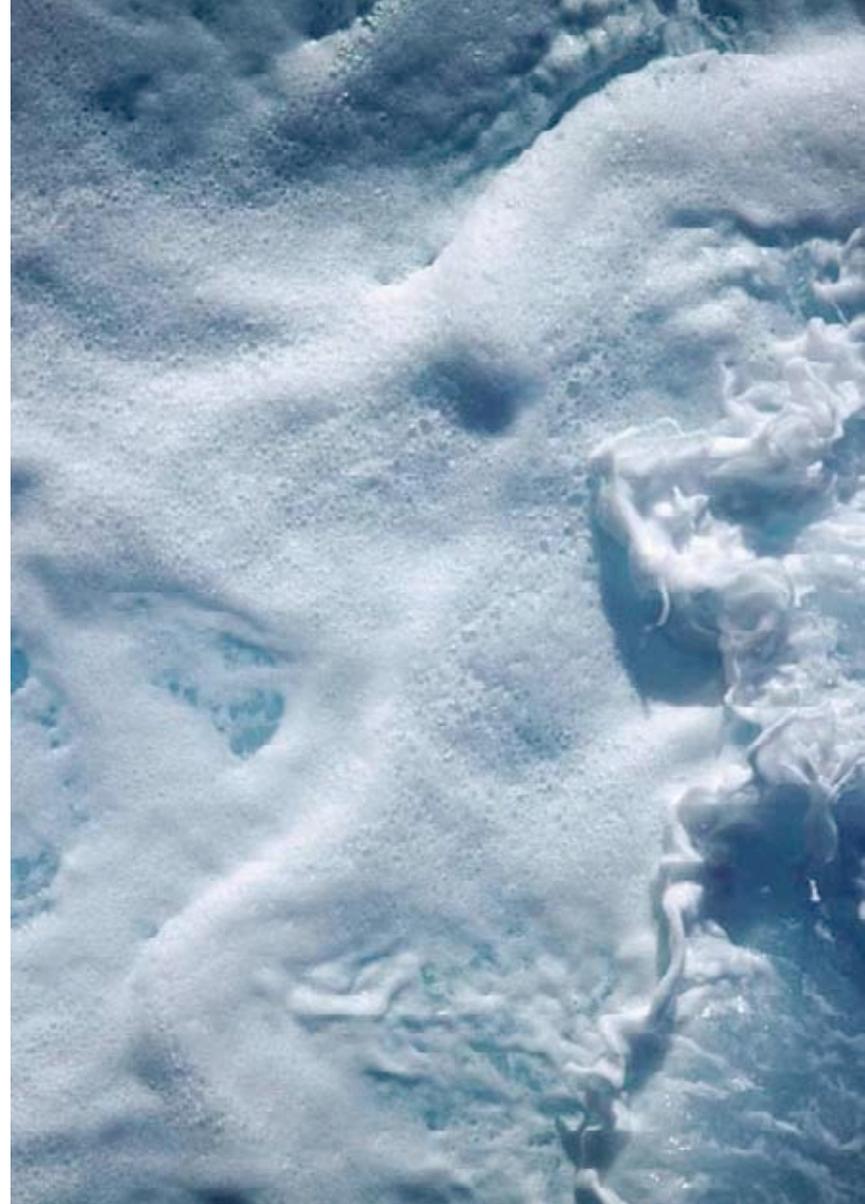
Der Ozean ist kein Wasserglas

Inselstaaten wie Tonga oder Kiribati gelten als „Sorgenkinder“ des Klimawandels. Ihre Küstenlinie liegt nur wenige Meter über dem Meeresspiegel. Schmelzen in Grönland und der Antarktis die Eisschilde, drohen die Eilande im Pazifik zu versinken.

Neuere Ergebnisse des Instituts für Meereskunde am KlimaCampus zeigen allerdings, dass sich der enorme Zufluss an Schmelzwasser nicht gleichmäßig über den Weltozean ausbreitet. Vielmehr gibt es regionale Unterschiede. Diese machen sich besonders an den Küsten Nordeuropas und Nordamerikas bereits kurzfristig bemerkbar.

Ursache sind die dynamischen Prozesse im Ozean: Anders als in einem Glas, in das man Wasser gießt und in dem sich nach wenigen Sekunden eine ruhige Oberfläche bildet, gibt es im Ozean aufgrund der Meeresströmungen keinen Ruhezustand. Unsere Modelle zeigen, dass das Schmelzwasser auch nach 50 Jahren noch für zusätzliche Bewegung im Nordatlantik sorgt. Den Weltozean erreicht es dagegen erst später.

Fazit: Der Meeresspiegel steigt ungleichmäßig, es kommt zu Minimum- und Maximumwerten, die erheb-





lich voneinander abweichen können. Da ist zunächst der Effekt der einströmenden Masse: Fließt Wasser in ein Becken, baut sich ein Wellenberg auf, der sich ausbreitet. Zusätzlich wird dieser durch die Erddrehung abgelenkt. Die so entstehenden Wirbel können sich weit durch den Atlantik ziehen. Man muss sich das vorstellen wie einen randvollen Wassereimer, in den man einen Quirl hält: Während der Pegel durch die Drehbewegung in der Mitte sinkt, läuft am Rand das Wasser über.

Tatsächlich kommt es durch das Abschmelzen des Eises innerhalb weniger Jahre im gesamten Nordatlantik zu Veränderungen – was den Anstieg des Meeresspiegels betrifft, aber auch die Zirkulation des Wassers. Denn Schmelzwasser ist Süßwasser. Wegen der geringeren Dichte schiebt sich dieses über das salzhaltigere Ozeanwasser und mischt sich nur langsam. Gleichzeitig geraten globale Meeresströmungen und der damit verbundene Wärmetransport wie etwa der für uns so wichtige Golfstrom aus dem Takt. In unseren Klimamodellen lässt sich diese „Antwort“ des Ozeans auf den Frischwassereintrag bereits deutlich erkennen.

Doch leider sind Tonga und Kiribati durch die neuen Erkenntnisse nicht außer Gefahr. Ein Teil des Schmelzwassers beeinflusst den Pazifik schon früher. Außerdem schmelzen durch den Klimawandel nicht nur die pola-

ren Eiskappen. Ein Gutteil des zu erwartenden Meeresspiegelanstiegs geht auf die Tatsache zurück, dass sich die Meere bei Erwärmung ausdehnen. Allerdings ist auch dieser Prozess nicht überall gleich stark, sondern durch Meeresströmungen beeinflusst, die das System durcheinanderwirbeln – quasi der berühmte „Sturm“ im Wasserglas.

Prof. Detlef Stammer ist physikalischer Ozeanograph und Direktor des Zentrums für Meeres- und Klimaforschung.





Klimawandel: Was passiert in den Städten?

In Ballungsräumen wirkt der Klimawandel mit Bebauung, Vegetation, Industrie und Verkehr zusammen. Diese Faktoren können die Risiken verstärken, aber auch verringern. Beispiel Hamburg.

Sie kennen das vielleicht: Während die Luft in der Stadt im Sommer mitunter unerträglich scheint, weht draußen auf dem Land noch ein leichter, kühlender Wind. Unterschiede auch beim Niederschlag: Im Südwesten Hamburgs nießelt es nur, im Nordosten, auf der Leeseite der Stadt, fallen derweil heftige Niederschläge.

Tatsächlich hat dies nichts mit dem Klimawandel zu tun. Es handelt sich vielmehr um kleinräumige Wetterphänomene. Eines zeigen die Beispiele aber deutlich: Städte mit ihren vielen Bewohnern, Gebäuden und Industrieanlagen beeinflussen Temperatur, Wind und Niederschlag – bis hin zur Ausprägung eines spezifischen Stadtklimas.

Verglichen mit dem, was wir über den globalen Klimawandel wissen, steckt das Thema Stadtklima noch in den Kinderschuhen – nicht zuletzt, weil in den Ballungsräumen entsprechende Messnetze und Daten fehlen. Umso spannender ist daher die jüngste Analyse des Teams von Prof. Heinke Schlünzen vom Meteorologischen Institut des

KlimaCampus zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst. Demnach ist die Durchschnittstemperatur in Hamburg-Fuhlsbüttel seit 1891 alle zehn Jahre um 0,07 Grad gestiegen. Legt man nur die letzten 60 Jahre zugrunde, beträgt der Anstieg sogar mehr als das Doppelte. Und für die letzten 30 Jahre zeigt die Kurve noch steiler nach oben.

Nun ist es ja eigentlich ganz schön, wenn es in Hamburg zukünftig etwas wärmer wird, werden vielleicht viele sagen. Allerdings regnet es auch mehr, besonders in den Wintermonaten und im Juni. Die Untersuchung zeigt außerdem, dass nicht nur die jährliche Niederschlagsmenge, sondern auch die Zahl der überdurchschnittlich starken Regenfälle zugenommen hat.

Der Anstieg ist jedoch vermutlich nicht nur eine Folge des globalen Wandels, auch Hamburg selbst hat sich enorm verändert. Vor mehr als 100 Jahren waren viele Vorstädte noch „grüne Wiese“. Heute haben wir durch den Flughafen in Fuhlsbüttel nicht nur regen Luftverkehr, dort leben auf knapp sieben Quadratkilometern auch fast 12.000 Menschen. Globale und städtische Effekte zu unterscheiden, ist schwierig – gleichzeitig aber enorm wichtig, um abzuschätzen, wie die Entwicklung weitergeht. Und um zu beurteilen, wie wir uns vor den Folgen schützen können.

So wäre es zum Beispiel denkbar, die Bebauung aufzu-



lockern und mehr in die Fläche zu gehen, um die Wirkung der innerstädtischen Wärmeinseln zu mildern. Umgekehrt prüfen wir auch, ob eine dichtere, kompaktere Bebauung Vorteile hat, wenn dazwischen umso größere Grünflächen geschaffen werden. Welche Verkehrskonzepte brauchen wir dann? Welche Bedürfnisse hat die alternde Gesellschaft? Und fühlen wir uns in diesen Städten noch wohl?

Stadtklima = globaler Klimawandel + die Variable X. Klimaänderungen sind in Ballungsräumen tendenziell stärker spürbar – etwa wenn Hitzewellen auftreten und die Temperatur nachts nicht ausreichend absinkt. Andere Effekte wirken sich womöglich mildernd aus: Durch eine enge, hohe Bebauung entstehen beispielsweise Fallwinde, die für Durchmischung und Temperatenausgleich sorgen.

Tatsache ist, dass wir die Planung unserer Städte für die kommenden Jahrzehnte neu ausrichten müssen. Dabei geht es nicht nur um Hochwasserschutz, sondern auch um Bebauung, Gestaltung von Grünflächen und ein ausreichendes Abwassersystem. Unsere Forschung liefert hierfür die wissenschaftliche Grundlage.

Prof. Jürgen Oßenbrügge vom Institut für Geographie ist Spezialist für Stadtentwicklung.

Treibhausgase aus Salzwiesen und Mangroven

Bei chemischen Untersuchungen nehmen Klimaforscher neuerdings auch die Küstenflora ins Visier. Dort geben Salzpflanzen Treibhausgase an die Atmosphäre ab.

Hauptursache des vom Menschen verursachten Klimawandels ist zu viel Kohlendioxid in der Erdatmosphäre. Als schädliche Treibhausgase wirken aber auch Verbindungen wie Methan und Halogenkohlenwasserstoffe, darunter die berüchtigten „FCKW“ aus Spraydosen und Kühlmitteln. Letztere wurden in den Neunzigern im Zusammenhang mit dem Ozonloch über der Antarktis und dem drohenden Ozonloch über der Arktis diskutiert – und schließlich aus den Regalen verbannt.

Unsere jüngste Expedition mit dem Forschungsschiff „Meteor“ belebt das Thema jetzt neu: Auch Pflanzen in Küstenzonen wie Mangroven oder auch in unseren heimischen Salzwiesen stellen die für die Atmosphärenchemie kritischen Verbindungen her – und zwar in weit höherem Maß als bisher angenommen. Sie produzieren aus den sie umgebenden Fluor-, Chlor- und Jodsalzen so genannte Methylhalide und geben diese in die Umgebungsluft ab.



Um festzustellen, welche Halogenverbindungen aus Pflanzen stammen und welche menschlichen Ursprungs sind, nutzen die Wissenschaftlerteams einen bewährten Trick: Sie untersuchen das Gewicht der Kohlenstoffanteile der jeweiligen Luftproben. Treibhausgase aus pflanzlichen Quellen sind dabei geringfügig leichter, weil der Ein- und Umbau im pflanzlichen Stoffwechsel sie verändert hat.

Zwar ist dieser Prozess, was die Mengen angeht, mit dem derzeitigen CO₂-Anstieg nicht zu vergleichen, dennoch könnte die Chemie unserer Atmosphäre künftig womöglich gehörig durcheinandergeraten. Was passiert etwa, wenn infolge des Klimawandels mehr Flächen bewässert werden müssen, die Böden versalzen und zusätzliche Halogenkohlenwasserstoffe frei werden? Inwieweit würden die Folgen aufgefangen, weil ein Teil der bisherigen Mangrovenwälder und Salzmarschen durch den Anstieg des Meeresspiegels überflutet würde und als Quelle wegfielen?

Gemeinsam mit unseren Kollegen vom Institut für Meteorologie am KlimaCampus entwickeln wir derzeit ein Rechenmodell, in das diese Wenn-dann-Überlegungen einfließen. Die Expedition vor der Küste Brasiliens, wo 60 bis 70 Prozent der tropischen Küstenlinie mit Pflanzen bedeckt sind, die Halogenkohlenwasserstoffe produzieren, liefert hierfür die Basisdaten.

Nachdem alle Proben untersucht sind, gilt es möglichst exakte Bilanzen aufzustellen. Bisher wurde geschätzt, dass Salzmarschen für rund ein Fünftel der weltweiten Halogen-einträge verantwortlich sind. Tatsächlich liegt die Menge möglicherweise deutlich darüber.

Gleichzeitig stellen sich vor diesem Hintergrund neue Fragen: Wie viel Treibhausgas pflanzlichen Ursprungs gelangt in höhere Schichten der Atmosphäre, wo es mit anderen Verbindungen reagiert? Und wie entwickelt sich dieser Prozess in Zukunft? Womit wir wieder beim Ozonloch wären.

Dr. Richard Seifert arbeitet am Institut für Biogeochemie und Meereschemie der Universität Hamburg.



Kein Dorsch mehr in der Ostsee?

Die meisten Deutschen kaufen ihren Fisch heute tiefgekühlt – „à la Bordelaise“ oder häppchenweise in der Paella. In der Regel handelt es sich dabei, je nach Saison, um See-
lachs oder Kabeljau aus der Familie der Dorsche. Welcher Fisch verfügbar ist, bestimmt künftig aber auch der Klimawandel.

So gelangt in Zukunft durch die Zunahme starker Regenfälle über die Flüsse mehr Süßwasser in die Ostsee. Gleichzeitig wird sich voraussichtlich der Tiefenwasser-Zufluss aus der Nordsee verringern. Die Salzkonzentration wird daher niedriger, was dem Dorsch nicht gefällt. Als Meeresfisch lebt er, was die Salzkonzentration anbelangt, in der Ostsee ohnehin am Limit. Auf den ersten Blick positiv sind Klimawandel und steigende Temperaturen dagegen für die Sprotte, zusammen mit dem Hering die Hauptnahrung des Dorsches. Als südliche Art hat sie es gern warm.

Kein Dorsch mehr in der Ostsee also? Stattdessen mehr Sprotten? Das könnte passieren, besonders weil diese sich von Dorscheiern ernähren und dadurch den Bestand weiter reduzieren. Beim Hering ist es ähnlich. Die Nahrungsbeziehungen zwischen den Arten sind komplex, normaler-



weise jedoch gut geregelt. Durch den Klimawandel geraten sie allerdings unter Druck.

Im Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft am KlimaCampus ist es uns gelungen, sowohl die wechselseitigen Abhängigkeiten, als auch die Veränderungen, die der Klimawandel mit sich bringt, in ein gemeinsames Rechenmodell zu integrieren. Das Ziel: langfristige Vorhersagen zur Entwicklung des Dorschbestands. Schließlich ist dieser nicht nur ein beliebter Speisefisch, sondern auch eine wichtige Einkommensquelle für die Fischer im gesamten Ostseeraum.

In unseren Untersuchungen haben wir mehrere Szenarien durchgespielt. Ergebnis: Blicke der Fischereidruck so hoch wie in den letzten Jahrzehnten, gäbe es mittelfristig auch ohne den Klimawandel nur noch sehr wenige Dorsche in der Ostsee. Beziehen wir steigende Temperaturen und niedrigere Salzgehalte, die uns in den nächsten Jahren erwarten, in die Rechnungen mit ein, beschleunigt sich dieser Prozess erheblich.

Erfreulicherweise zeigt das Modell jedoch auch: Wird der Fischereidruck reduziert, bleibt der Bestand in den nächsten 50 Jahren tendenziell stabil. Dies bestätigen Untersuchungen in Gebieten, in denen Fischbestände schon jetzt umsichtig gemanagt werden.

Hierfür sind Modelle, wie wir sie jetzt entwickelt haben, ein wichtiges Werkzeug. Dabei arbeiten wir eng mit Spezialisten aus Partnerinstituten in Dänemark und Norwegen zusammen. Entscheidend sind unter anderem ausreichende Schutzgebiete für Jungfische und wirksame Kontrollen der Fangquoten. Denn trotz aller Segnungen der modernen Lebensmittelindustrie wird Fischfilet immer noch aus Fisch gemacht. Wollen wir also auch in Zukunft Fisch auf dem Teller haben, ist eine Regulierung unumgänglich.

Prof. Christian Möllmann, Fischereibiologe, arbeitet eng mit Spezialisten aus Partnerinstituten in Dänemark und Norwegen zusammen.



Gesellschaften im Klimastress: Konflikt oder Kooperation?

Als ein Forschungstauchboot im August 2007 die russische Flagge am Meeresboden unter dem Nordpol hisste, sorgte dies weltweit für Aufmerksamkeit. Machte hier etwa ein Staat seine Ansprüche auf die reichen Öl- und Gasvorräte in der Arktis geltend? Durch den Klimawandel und das Abschmelzen des Polareises erhält der Kampf um die Ressourcen in der sensiblen Region eine neue Dimension.

Schon heute gibt es viele Beispiele, welche gesellschaftlichen Konflikte der Klimawandel mit sich bringt. Meist geht es dabei um knappe Ressourcen – Wassermangel, Verlust von fruchtbarem Land durch Überschwemmung, Wüstenbildung, Verteuerung von Brennstoffen und Lebensmitteln. Sind „Klimakriege“ also unausweichlich, wie manche Experten sagen?

Am KlimaCampus untersuchen wir mithilfe von Computermodellen, wie solche Konflikte überwunden werden können. So zeigt etwa eine Untersuchung der Landwirtschaft in Illinois, wie sich das Problem „Tank oder Teller“ entschärfen lässt. Statt Mais oder Sojabohnen zu Biotreibstoffen zu verarbeiten, die dann als Nahrungsmittel feh-

len, werden organische Abfälle oder hochproduktive Grasarten als erneuerbare Energiequelle genutzt. Ergebnis: Bei nachhaltiger Nutzung und effizienter Produktion stehen die Zeichen für eine dauerhafte und wirtschaftlich sinnvolle Nutzung gut.

Menschliches Handeln in Modelle zu fassen, ist schwierig. Anders als in der Physik, wo Planeten vorhersagbaren Bahnen folgen, entscheiden wir Menschen nach eigenem Ermessen. Dennoch oder gerade deshalb lohnt sich der Aufwand: Das Modell führt uns die Konsequenzen unseres Handelns vor Augen – und es zeigt, dass Gewalt und Krieg am Ende allen schaden, während kooperative Lösungen oft erkennbare Vorteile bringen.

Ein Beispiel hierfür ist der Golfkrieg. Rechnet man die Kosten der militärischen Intervention mit ein, zeigt sich schnell, dass der „Krieg um Öl“ die begehrte Ressource eher noch verteuert hat. Versteckte Kosten auch beim Wasser: Die 20 Millionen Einwohner der Metropolregion Kairo beziehen ihr Wasser aus dem Nil – und verstärken durch die Entnahme die Versalzung der Böden im Nildelta, der wichtigsten landwirtschaftlichen Produktionsfläche des Landes. Die Folge sind teure Lebensmittelimporte, die sich durch gemeinschaftliches Ressourcenmanagement vermeiden ließen.





Auch auf der Klimakonferenz in Kopenhagen ging es darum, dass die Weltbevölkerung immer mehr Ressourcen benötigt – und dabei immer mehr CO₂ produziert. Gesucht wird auch ein Ausgleich zwischen Entwicklungs- und Industrienationen. So ist es zum Beispiel denkbar, dass Europa in Technologien investiert, mit denen in Afrika Rohstoffe und Energie effizienter genutzt werden können. Dass sich dies am Ende für beide Seiten rechnet, lässt sich schon jetzt belegen.

Prof. Jürgen Scheffran vom Institut für Geographie der Universität Hamburg untersucht Konfliktsituationen mit Klimabezug.

Intelligente Modelle machen Wolken berechenbar

Menschen beobachten Wolken seit Jahrtausenden: Künstler, Landwirte, Seeleute, Meteorologen. Dennoch ist es für uns Klimaforscher nach wie vor schwierig, Wolken in unseren Berechnungen exakt abzubilden.

Wolken spielen eine wichtige Rolle im Klimasystem – und beeinflussen, je nachdem wo sie sich befinden, den Treibhauseffekt. In Bodennähe verhindern sie beispielsweise die Rückstrahlung von Wärme in höhere Luftschichten und halten so die Erde warm. Dabei heizen sich die enthaltenen Wassertropfen auf und die Wolke steigt höher. Weiter oben am Rande der Troposphäre wirken die Wolken dann wie ein Spiegel. Ein Großteil der Sonnenstrahlung wird an der Wolkendecke reflektiert und gelangt erst gar nicht auf die Erde – der Treibhauseffekt verringert sich.

Um die Auf- und Abwärtsbewegungen sowie das komplexe System von Wolkenbildung und -auflösung zu erfassen, arbeiten wir am KlimaCampus zurzeit an einer neuen Generation von Rechenmodellen. Unsere Ergebnisse zeigen: Es bringt wenig, akribisch die eher gleichförmige Wolkenmasse zu untersuchen – die wirklich wichtigen Pro-

zesse spielen sich an den Rändern ab. Hier verformt sich die Wolke, breitet sich aus und es entscheidet sich, ob aus den Mikrotröpfchen ein aufsteigender „Amboss“ wird oder ob es bei einer flachen Wolke bleibt. Hier muss das Modell besonders genau sein, während wir an anderer Stelle mit weniger Rechenwerten auskommen.

Warum das wichtig ist? Nun, trotz modernster Superrechner kosten komplexe Klimaberechnungen noch immer sehr viel Zeit. Manchmal dauert es Monate, bis ein bestimmtes Ergebnis vorliegt. Außerdem sind viele Wolken, insbesondere lokale Gewitterzellen, kleiner als die maximale Auflösung der zur Verfügung stehenden Rechenmodelle.

Bisher wurden für die Dichte der Wolkendecke gezwungenmaßen Mittelwerte angesetzt. Doch lokal sieht es womöglich ganz anders aus. Man kann sich das vorstellen wie Autofahren bei Nebel: Obwohl die mittlere Sichtweite laut Wetterbericht bei 50 Metern liegt, sind einzelne Streckenabschnitte oft völlig ungefährlich, während sich in der Nähe feuchter Wiesen häufig dichte Schlieren bilden. Auch Wolken verteilen sich keineswegs gleichmäßig, sondern sind dort am dichtesten, wo Boden und Luft am wärmsten und am feuchtesten sind.

Unser Ziel ist es, „intelligente“ Modelle zu schaffen,

die in den wichtigen Randbereichen engmaschig rechnen und in anderen, unwichtigeren Bereichen gröber auflösen – und dabei selbsttätig der Bewegung der Wolken folgen. Gelingt es uns, dieses knifflige mathematische Problem zu lösen, spart dies nicht nur Rechnerkapazität, sondern bedeutet auch einen echten Qualitätssprung.

Prof. Jörn Behrens ist Mathematiker und Spezialist für Klimamodelle. Am KlimaCampus leitet er die Nachwuchsgruppe „Numerical Methods“.



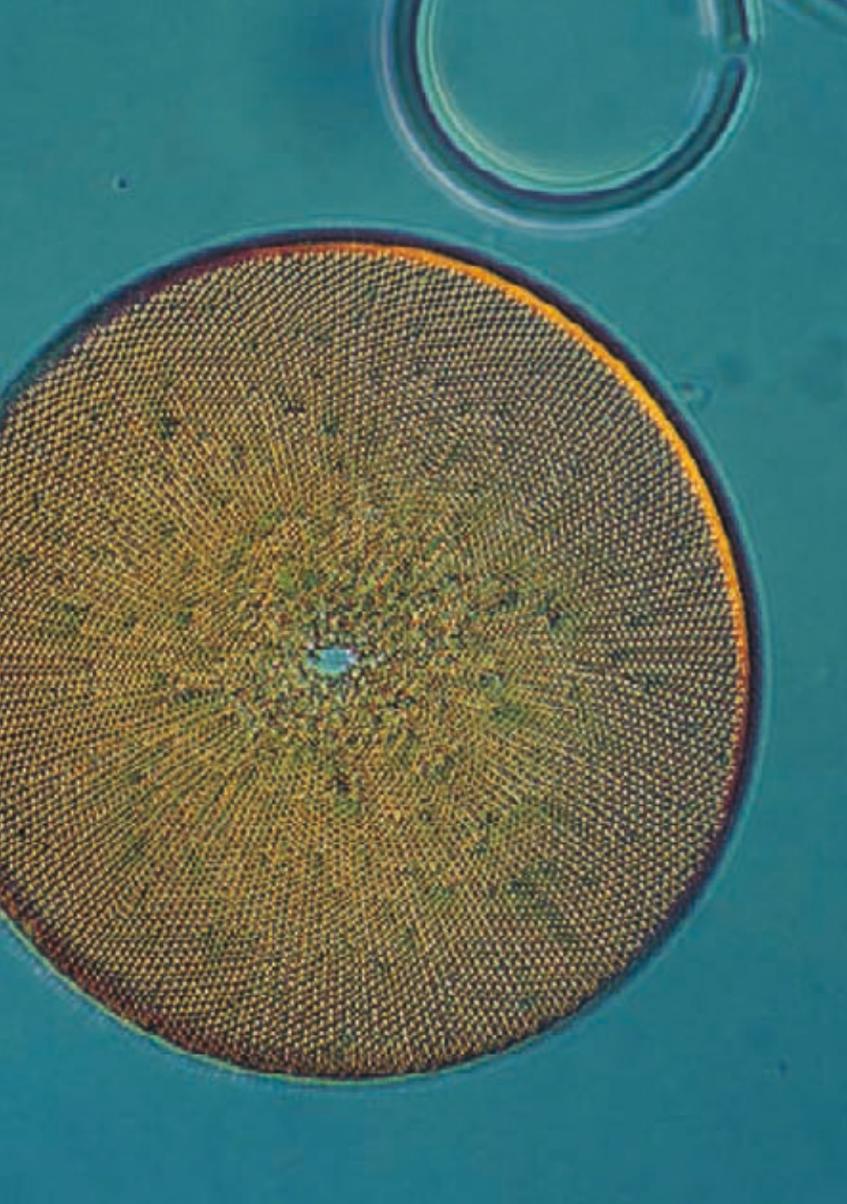
Klimawandel im Ozean: Algenblüte oder „Wüste“?

Wir kennen Sie als Algenteppiche vor Rügen oder als „red tides“ vor Floridas Küsten: Mikroalgen, die wichtigsten Primärproduzenten im Ozean. Unklar ist, welchen Einfluss der Klimawandel künftig haben wird.

Der Ozean ist der größte Speicher für Kohlendioxid, den wir kennen. Nicht nur weil CO_2 in Wasser löslich ist, sondern auch weil Milliarden und Abermilliarden winzige kleiner Planktonalgen das schädliche Treibhausgas bei der Photosynthese in ihren Stoffwechsel einbauen. Letzteres ist auch deshalb wichtig, weil ein Teil der abgestorbenen Algen auf den Meeresboden sinkt und so für Jahrtausende aus der Kohlendioxidbilanz „verschwindet“. Tatsächlich würde die globale Erwärmung ohne diese Pufferwirkung noch um einiges höher ausfallen.

Allerdings gibt es Anzeichen, dass das Algenaufkommen trotz CO_2 -Überangebot und gemächlich warmer Temperaturen eher zurückgeht und dass im Weltozean regelrechte arten- und nährstoffarme Wüsten entstehen. Großflächige Daten hierzu liefern Satellitenbeobachtungen, die den Chlorophyllgehalt im Ozean messen. Aller-





dings dringen die elektromagnetischen Wellen der Satelliten nur wenige Meter unter die Meeresoberfläche und zeigen daher womöglich nicht die ganze Wahrheit. Insbesondere die Keimstadien vieler Algenarten lauern in der Tiefe und führen lokal begrenzt immer wieder zu regelrechten Algenblüten – wie etwa den Blaualgentepichen in der sommerlichen Ostsee.

Blüte oder Wüste: Wie Algen letztendlich auf steigende Temperaturen und mehr Kohlendioxid im Meer reagieren, ist räumlich und zeitlich nur schwer vorhersagbar. Am KlimaCampus prüfen wir derzeit die Möglichkeit, dem Einfluss des Klimawandels auf das Plankton durch Modellrechnungen auf die Spur zu kommen. Dabei gibt es zwischen den physikalischen und chemischen Parametern im Ozean wie Temperatur und Nährstoffgehalt und der Biologie der Algen zahlreiche Wechselwirkungen. Zum Beispiel verhindern dichte Algentepiche an der Oberfläche, dass Licht in tiefere Wasserschichten dringt, und drosseln dort Photosynthese und CO_2 -Umsatz.

Oberflächennahe Schichten heizen sich durch diesen Mechanismus tendenziell auf, weil mit dem Licht auch die Wärme gehalten wird. Darunter bleibt es kühler als bisher und trotz ausreichender Nährstoffe bewirkt die „Lichtdiät“, dass die Algen im Wachstum zurückbleiben. Im Extremfall

verändert die Algenkonzentration bereits die Reflexion an der Wasseroberfläche, sodass Licht und Wärme von vorne herein weniger tief eindringen.

Bisher bildeten Rechenmodelle das Zusammenspiel mit der Biologie nur ungenügend ab. Ein Vergleich mit der Realität zeigt: Viele Prognosen für die jährlich wiederkehrende Algenblüte liegen zu spät. Außerdem konnten wir zeigen, dass sich die von Jahr zu Jahr stark schwankende Entwicklung nur dann zuverlässig vorhersagen lässt, wenn man den jeweiligen Lebenszyklus und die Wechselwirkungen zwischen den Algenarten einbezieht.

Am besten lässt sich dies mit der Landwirtschaft vergleichen. Je mehr Setzlinge der Bauer in die Erde bringt, desto reicher die Ernte. Im Meer verhält es sich ähnlich: Je mehr Algensporen sich in tieferen Schichten angesammelt haben und auskeimen, wenn sich die Umweltbedingungen ins Positive wenden, desto stärker fällt die Algenblüte aus.

Prof. Inga Hense arbeitet daran, biologische Prozesse in Klimamodelle zu integrieren, und baut dafür am Hamburger KlimaCampus eine neue Arbeitsgruppe auf.

Gut fürs Klima: Verwitterung von Gestein bindet Kohlendioxid

Das Treibhausgas Kohlendioxid aus der Luft entfernen und tief unterirdisch einlagern: Vor einigen Jahren wäre ein solches Projekt wohl noch ins Land der Märchen verwiesen worden. Inzwischen wird in Deutschland über die so genannte CO₂-Sequestrierung ernsthaft nachgedacht – und über die Risiken diskutiert.

Der Weg zu einer „klimaneutralen“ Gesellschaft ist noch weit. Und solange es nicht gelingt, den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren, müssen wir auch über Möglichkeiten nachdenken, diese aus der Atmosphäre zu entfernen. Dorthin, wo sie weniger oder besser keinen Schaden anrichten.

Mittlerweile existieren ernst zu nehmende Alternativen. Zum Beispiel entzieht die chemische Verwitterung von Gestein der Atmosphäre CO₂. Dabei entsteht im umgebenden Grundwasser Kohlensäure. Am KlimaCampus untersuchen wir deshalb, inwieweit sich dieser Prozess verstärken lässt, um möglichst viel Kohlendioxid zu binden.

Anders als bei der tiefen Sequestrierung wird das Kohlendioxid bei dieser Methode nicht einfach im Unter-



grund gelagert. Die Kohlensäure löst vielmehr mineralische Bestandteile wie Calcium, Magnesium oder Silizium aus Gesteinsmineralen. Die positiv geladenen Elemente, wie zum Beispiel Calcium oder Magnesium, halten dann die negativ geladene Kohlensäure im Wasser fest. Das CO_2 ist dadurch im Grundwasser gebunden. Ein Sicherheitsrisiko durch spontan frei werdendes Gas entsteht nicht. Das Grundwasser mit dem gebundenen Kohlenstoff wird später über Flüsse in die Ozeane transportiert. Dort verweilt es für Jahrtausende.

Die Idee: Um die Verwitterung anzukurbeln und mehr CO_2 festzulegen, kann feines, leicht lösliches Mineralpulver in großem Stil auf geeigneten Flächen verteilt werden. Hierfür wäre etwa Olivin geeignet, vielen Mineralieninteressierten als Peridot bekannt. Es ist eines der häufigsten Minerale der Erde, findet sich zum Beispiel in vulkanischen Gesteinen und ist gut zugänglich.

Erste Berechnungen zeigen, dass eine Milliarde Tonnen Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid durch eine künstliche Verwitterung jährlich zum „Verschwinden“ gebracht werden könnten. Zum Vergleich: Acht Milliarden Tonnen Kohlenstoff setzen wir Menschen jährlich in die Atmosphäre frei. Praktisch kommen aber längst nicht alle Gebiete für eine solche Turbo-Verwitterung infrage.

Für eine Anwendung fehlen unter anderem wichtige wissenschaftliche Grundlagen: Wie wirkt sich die künstliche Verwitterung auf Pflanzen und Mikroorganismen aus? So ist das freigesetzte Silizium ein wichtiger Pflanzennährstoff. In welchem Umfang verbessern sich dadurch womöglich die Getreideernten?

Gleichzeitig würde durch den erhöhten Transport von Verwitterungsprodukten in den Ozean die zunehmende Versauerung der Ozeane, die die Artenvielfalt gefährdet, teilweise abgemildert.

Die Finanzierung eines solchen weltweiten Großprojektes wäre wohl weniger problematisch: Sie könnte über den CO_2 -Zertifikatehandel realisiert werden.

Prof. Jens Hartmann arbeitet am Institut für Biogeochemie und Meereschemie der Universität Hamburg.



Stürme, Taifune, Polartiefs: Regionalmodelle helfen, Veränderungen zu analysieren

Größer, schneller, weiter? In der Klimaforschung läuft der Trend umgekehrt: Die Herausforderung liegt darin, auch vergleichsweise kleine Phänomene wie Stürme oder lokale Tiefdruckgebiete zu berechnen. So lässt sich bisher nicht sagen, ob Stürme an der Nordsee und im Nordatlantik künftig häufiger auftreten oder ob sich womöglich deren Zugbahnen verändern.

Globale Klimamodelle, mit denen die Wissenschaft seit rund 40 Jahren erfolgreich arbeitet, teilen die Erde in dreidimensionale Gitterboxen ein, für die das jeweilige Wetter berechnet wird. Die Boxen haben eine Kantenlänge von hundert bis dreihundert Kilometern. Ein Tief kann dabei ab vier bis fünf Gitterboxlängen zuverlässig dargestellt werden. So genannte Polartiefs haben jedoch häufig nur eine Ausdehnung von mehreren hundert Kilometern – und fallen daher quasi durch das Raster.

Eine feinere Auflösung überstieg bisher die Kapazität der zur Verfügung stehenden Rechner. Erfreulicherweise hat sich dies geändert – nicht zuletzt durch den neuen

Großrechner im Deutschen Klimarechenzentrum. Meine Kollegen und mich vom Institut für Küstenforschung am GKSS-Forschungszentrum Geesthacht interessiert, welchen Mehrwert die regionalen Modelle gegenüber globalen Modellen bieten.

Tatsächlich zeigen einige unserer Experimente, dass das feinere Regionalraster nicht zwangsläufig überlegen ist. Beispielsweise lässt sich über dem offenen Ozean für vergleichsweise einheitliche Faktoren wie bodennahe Windgeschwindigkeit oder Luftdruck auf Meereshöhe auch ein gröberes Raster nutzen. Ein Regionalmodell bringt in diesem Fall keinen Mehrwert, verschlingt aber wertvolle Rechenzeit.

Ganz anders entlang der Küsten: Hier lohnt sich eine genaue Analyse, weil Form und Topografie der Küstenlinie auf relativ kleinem Raum für unterschiedliche Windverhältnisse und Temperaturen sorgen. Auch typische Wettererscheinungen an Bergketten lassen sich nur durch ein Regionalmodell wirklichkeitsnah abbilden.

Jedes Klimamodell wird grundsätzlich einem Realitäts-Check unterzogen. Dabei rechnen wir nicht vorwärts, sondern mehrere Jahrzehnte zurück. Indem wir die Rechenergebnisse mit Daten vergleichen, die in dieser Zeit vor Ort tatsächlich gemessen wurden, überprüfen wir die Quali-

tät des Modells. Gleichzeitig untersuchen wir, ob sich Häufigkeit, Stärke und Zugbahnen von Polartiefs oder Taifunen verändert haben.

Modelle sind außerdem in der Lage, Fehler auszugleichen, die sich durch unterschiedliche Messmethoden und -stationen ergeben. So stehen uns beispielsweise erst seit den siebziger Jahren Satellitendaten zur Verfügung. Durch eine sinnvolle Kombination von Messdaten, hoch aufgelösten und globalen Modellen können wir gezielte Aussagen über den Wandel regionaler Klimaphänomene machen.

Dr. Frauke Feser ist Meteorologin am Institut für Küstenforschung des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht und Mitglied des Hamburger KlimaCampus.



Bildnachweis

© Mike Hollingshead/Science Faction/Corbis (Titel, S.52/53),
© Flirt/F1 online (Titel innen, S.1), © Arja Valtanen (Rückseite l., S.22),
© Jeffrey L. Rotman/Corbis (Rückseite r., S.29), © iStockphoto (S.4/5, S.9 o.,
S.36 u., S.41), © James Hardy (S.9 u.), © Frederic Cirou/ès Photography/Corbis
(S.11), © Danny Lehman/Corbis (S.12 o.), © Roger Grace/Greenpeace (S.12 u.),
© Paul Russell/Corbis (S.15), © HafenCity Hamburg GmbH (S.16), © Ashley
Jouhar/cultura/Corbis (S.19 o.), © mediaserver.hamburg.de/T. Hampel (S.19
u.), © Ulf Mehlig (S.23), © Masterfile (S.26/27), © Joho/cultura/Corbis (S.32),
© Ton Koene/AGE/F1 online (S.35 o.), © Jörg Gläscher/Greenpeace (S.35 u.),
© Floris Leeuwenberg/Corbis (S.36 o.), © Karl-Jürgen Hesse (S.43, 44),
© Jens Hartmann (S.48/49), © Jacques Descloîtres, MODIS Rapid Response
Team, NASA/GSFC, Visible Earth (S.57)

Herausgeber

KlimaCampus, Universität Hamburg
Exzellenzcluster CliSAP, www.klimacampus.de

Redaktion

Ute Kreis, Öffentlichkeitsarbeit
Exzellenzcluster CliSAP

Gestaltung

HAAGEN design, www.haagendesign.de

Auflage: 5.000

Hamburg, 2010

mit freundlicher Unterstützung des Hamburger Abendblatts



Zum Inhalt

Wie berechnet man Wolken? Kann man Kohlendioxid durch Verwitterung verschwinden lassen? Und was haben Mangroven mit Haarspray gemeinsam?

In einer Artikelserie des Hamburger Abendblatts geben Wissenschaftler vom KlimaCampus der Universität Hamburg regelmäßig Antwort. Ozeanographen und Meteorologen, Geographen und Biologen kommen zu Wort und präsentieren Aktuelles aus ihrem Forschungsgebiet. Die schönsten Beiträge können Sie hier nachlesen.