



Wenn Gletschereis wie Honig fließt

Zehn Klimaforscher berichten

Ein Lesebuch des Hamburger KlimaCampus



Wenn Gletschereis wie Honig fließt

Zehn Klimaforscher berichten

Inhalt

6	Tiefsee
11	Millenniumsläufe
17	Emissionshandel
22	Gletscher
28	Regenwald
34	Satelliten
41	Hurrikane
44	Flussmanagement
50	Vulkanasche
55	Sibirische Moore

Mehr Klimageschichten ...

Um sich für Klimaforschung zu interessieren, muss man kein Experte sein. Das haben uns die Leser von „Der Ozean ist kein Wasserglas“, dem Vorgänger dieses Büchleins, gern bestätigt. Beide Bücher bündeln Gastbeiträge von Forschern am KlimaCampus, die regelmäßig im Hamburger Abendblatt erscheinen: aktuelle Ergebnisse aus der Klimaforschung in verständlicher Sprache.

Die nachfolgenden zehn Geschichten bieten ein ganz gemischtes Panorama. Sie erfahren mehr über die kostenlosen Dienstleistungen der Elbe, warum der Emissionshandel noch nicht reibungslos funktioniert und wie man mit Satelliten aufdeckt, ob insgeheim im Regenwald Unterholz entnommen wurde.

Viel Vergnügen mit der Wissenschaft!



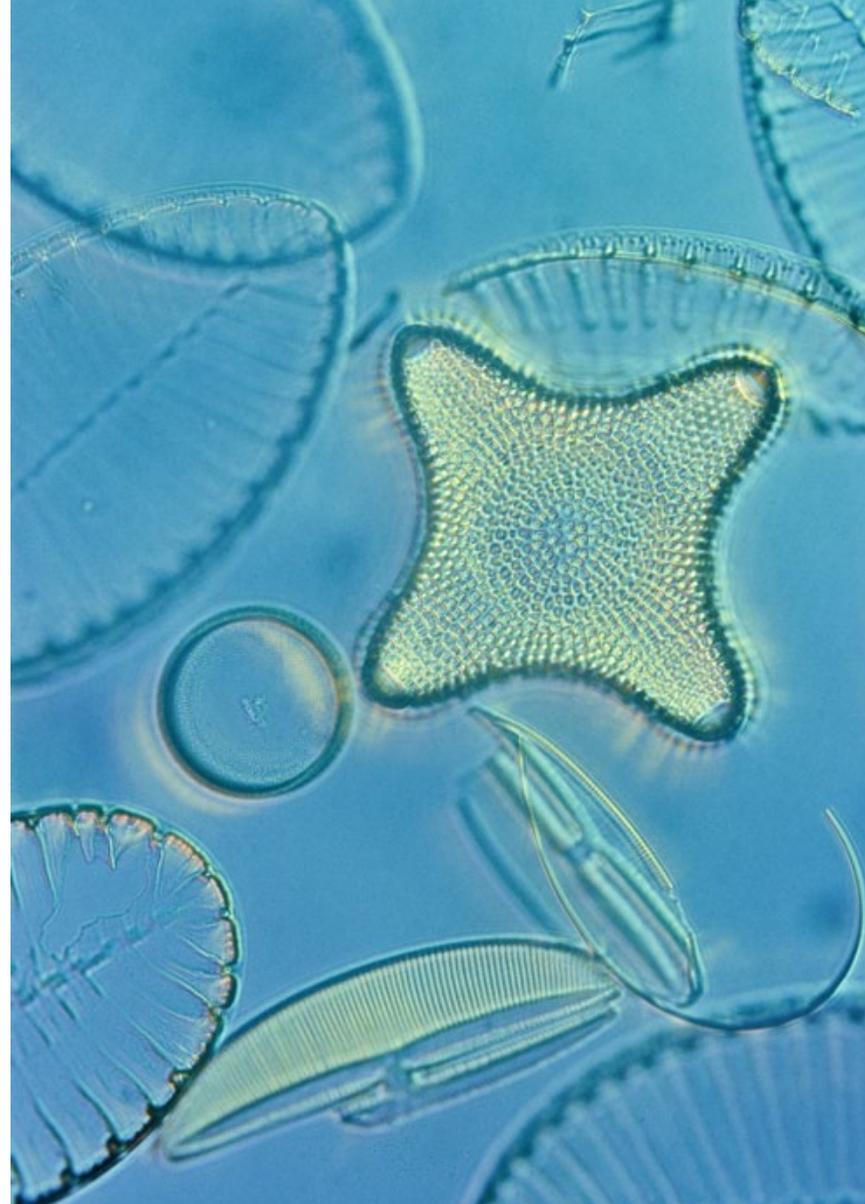
Planktonblüte und Meeresschnee

Eine massive Algenblüte bringt noch in viertausend Meter Tiefe die Bewohner am Meeresboden durcheinander. Wird durch den Klimawandel die Tiefsee neu sortiert?

Macht der Klimawandel sich bis hinunter in die Tiefsee bemerkbar? Einen ersten Hinweis hierauf gab eine Expedition in die Antarktis Anfang 2008. Damals wurde einer Planktonblüte nachgespürt und der Weg der abgestorbenen Algen bis zum Meeresboden in 4500 Meter Tiefe verfolgt. Für die dort in völliger Dunkelheit lebenden Organismen sind solche biologischen Überreste eine der seltenen Nahrungs- und Energiequellen.

Tatsächlich konnte damals mittels sehr feiner Sonden sechs Wochen nach einer Planktonblüte eine verstärkte biologische Aktivität am Meeresboden nachgewiesen werden. Ein Indiz für uns, dass sich Veränderungen an der Oberfläche über die Nahrungskette sogar auf das Leben in mehreren Tausend Metern Tiefe auswirken.

Weil hohe CO₂-Werte im Meer unter bestimmten Bedingungen solch massive Algenblüten auslösen können, verändert sich im Zuge des Klimawandels womöglich auch das Nahrungsangebot in der Tiefsee. Die Blüte wirkt wie ein



Impuls, der sich von der Wasseroberfläche sukzessive bis in die Tiefe fortsetzt. In der oberen, lichtdurchfluteten Schicht bauen die Mikroalgen den Kohlenstoff in ihren Stoffwechsel ein. Die Algen werden vom Zooplankton gefressen, das wiederum Fischen und anderen Meerestieren als Nahrung dient. Was übrig bleibt, sinkt langsam durch die Wassersäule in tiefere Schichten.

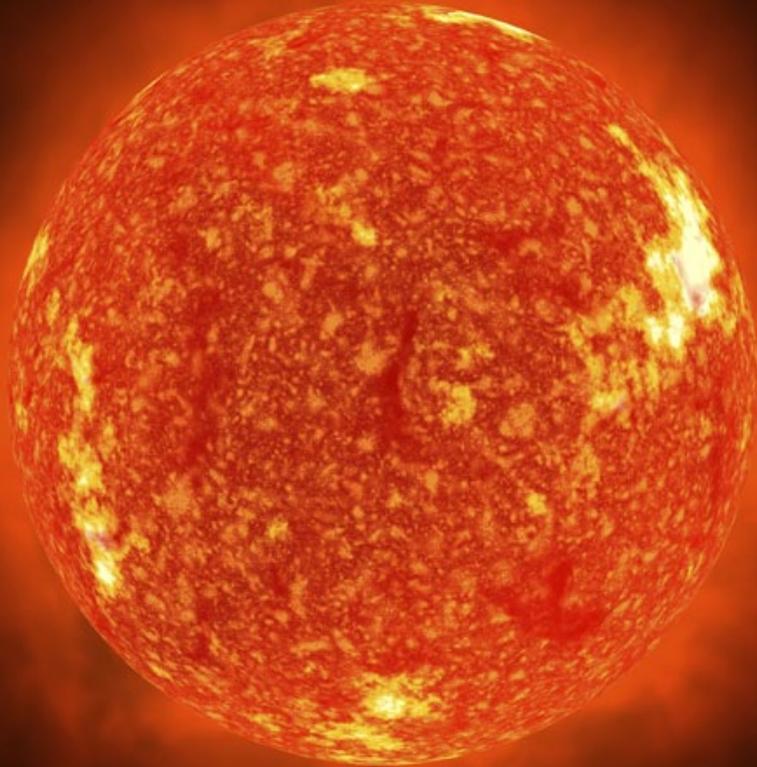
Am Meeresboden angekommen, erhalten die dortigen Bakterien und Kleinstlebewesen durch diesen Meeres-schnee oder „marine snow“ einen regelrechten Nahrungsschub. Normalerweise laufen Wachstum und Vermehrung hier nur äußerst langsam ab, doch plötzlich können sich die Spezies ausbreiten – und die isoliert lebende, sensible Artengemeinschaft nachhaltig verändern.

Der Klimawandel beeinflusst das Leben im Meer also nicht nur durch höhere Temperaturen. Mindestens ebenso wichtig ist der Einfluss von CO₂ im Meerwasser. Kohlendioxid trägt nicht nur zur Versauerung der Ozeane bei oder greift die Kalkschalen von Organismen an: Es kann auch die biologische Produktion nachhaltig verändern.

Inwieweit die Tiefsee profitiert oder ob das ökologische Gleichgewicht aus den Fugen gerät, wollen wir jetzt mit einem Netzwerk internationaler Wissenschaftler klären. Ziel ist es, die Algenblüten und den Weg des Kohlenstoffs

von der Atmosphäre bis zum Meeresboden durch Messungen und Experimente noch genauer zu analysieren. Noch immer wissen wir sehr wenig über dieses Ökosystem. Bei der nächsten Fahrt wird deshalb ein spezielles Schlittensystem eingesetzt. Es misst Sauerstoff, Temperatur und die Dichte des Wassers am Meeresboden. Außerdem sind Kameras, ein Durchflussmesser und Gefäße zur Probenahme mit an Bord.

Prof. Angelika Brandt Tiefsee-Expertin, leitet das Zoologische Museum der Universität Hamburg.



Wer war es: die Sonne, Vulkane oder der Mensch?

Die Suche nach den „Schuldigen“ des Klimawandels wird heiß diskutiert. Mit so genannten Millenniumsläufen können wir die Verursacher historischer Klimaänderungen identifizieren – und so den aktuellen Einfluss des Menschen beziffern.

Sprechen kalte Winter gegen den Trend der Erderwärmung? Eher nicht, denn kurzfristige Extreme gehören mit zur Bandbreite natürlicher Schwankungen, die es schon immer gab. Doch daneben können andere Faktoren das Klima sehr wohl dauerhaft verändern: Wenn sich zum Beispiel die Intensität der Sonnenstrahlung ändert oder ein starker Vulkan ausbricht. Dessen Effekte wirken jahrzehntelang aufs Klima.

Am KlimaCampus analysieren wir, welcher dieser Faktoren für vergangene Klimaänderungen verantwortlich ist. Ein kniffliges Problem, da sich die Effekte gegenseitig aufheben oder addieren können. Doch wenn wir diese Mechanismen verstehen, können wir den menschlichen Einfluss umso genauer berechnen.

Wodurch wurde die Kleine Eiszeit von 1400 bis 1850 ausgelöst? Wann begann der Mensch, das Klima zu verändern? In so genannten Millenniumsläufen berechnen meine Kollegen am Max-Planck-Institut und ich das Klima der letzten 1200 Jahre. Unser Modell läuft dabei unter vorgeschriebenen äußeren Bedingungen, die wir aus der Analyse von historischen Daten kennen (Vulkanausbrüche, Sonnenflecken, veränderte Landnutzung durch den Menschen, Verbrennung von Holz, Kohle, Öl, Gas). Zusätzlich legen wir die Startbedingungen fest. Einmal angestoßen, läuft das Modell automatisch bis ins Jahr 2000.

Um die Ergebnisse zu prüfen, vergleichen wir mit Rekonstruktionen aus Baumringen und Eisbohrkernen, denn Temperaturdaten werden erst seit 200 Jahren genau erfasst. Je genauer die modellierte Kurve dann die „echten“ Temperaturen auf der Nordhalbkugel zeigt, desto realitätsnäher ist unser Modell – ein wichtiger Schritt zu detaillierten Zukunftsszenarien.

Und tatsächlich: Unsere Daten stimmen gut überein. Die niedrigen Temperaturen der Kleinen Eiszeit sind abgebildet, genauso wie der aktuelle Temperaturanstieg seit der Industrialisierung. Mit so genannten Ensembleläufen ermitteln wir zusätzlich die natürlichen Schwankungen des Klimasystems. Wir variieren die Startbedingungen



und erhalten so eine Spanne, innerhalb der sich die reale Temperatur damals bewegt haben müsste.

Nur, was hat die Klimaänderungen verursacht? In Frage kommen die vier großen Antriebe: Änderung der Sonnenintensität, Vulkane, die natürlichen Schwankungen und der Mensch. Im Modell schalten wir hierfür nun die Randbedingungen einzeln an und aus: Wenn kein Vulkan ausbricht, welchen Einfluss haben dann die historischen Änderungen der Sonneneinstrahlung? Umgekehrt nehmen wir eine konstante Sonnenstrahlung an. Welchen Effekt erzielen dann die überlieferten Vulkanausbrüche?

Deutlich wird: Die Sonnenvariabilität genügt nicht – ohne Vulkanausbrüche hätte die Kleine Eiszeit nicht stattgefunden. Ebenso kann der globale Temperaturanstieg der letzten 150 Jahre nicht durch natürliche Schwankungen oder solare Änderungen allein erklärt werden. Bedeutendster Verursacher ist der Mensch. Wichtige Ergebnisse, mit denen unsere Millenniumsläufe auch zum nächsten IPCC-Bericht des Weltklimarats beitragen werden.

Prof. Johann Jungclauss leitet am Max-Planck-Institut für Meteorologie das Millenniumsprojekt.





Handel mit CO₂-Zertifikaten ist unberechenbar

Der Emissionshandel soll als einfaches Instrument den CO₂-Ausstoß verteuern und damit zum Einsparen zwingen. Eine Auswertung erster praktischer Erfahrungen zeigt: Die Klimabörse funktioniert nicht wie geplant.

Begehrte Güter lassen sich teuer verkaufen. Entsprechend sind Dinge, von denen es reichlich gibt, meist günstig zu haben. Angebot und Nachfrage bestimmen den Preis. Nach dem gleichen Prinzip soll auch der Handel mit Emissionsrechten funktionieren, der 2005 europaweit eingeführt wurde. Dabei wird das Recht, klimaschädliches CO₂ in die Luft zu blasen, durch politische Vorgaben eingeschränkt und für jede Tonne Treibhausgas muss eine Erlaubnis in Form eines Zertifikats vorliegen. Weil die erlaubte Menge knapp ist, sind die Zertifikate teuer – sodass Unternehmen gezwungen sind, ihre Emissionen einzuschränken.

Soweit die Theorie. Tatsächlich haben meine Mitarbeiter und ich herausgefunden, dass der Handel in den EU-Ländern sehr unterschiedlich gehandhabt wird und die Effekte geringer sind als erhofft. Zunächst einmal wurden zu viele Zertifikate ausgegeben, weil der CO₂-Ausstoß zur „Stunde Null“ zu hoch eingeschätzt wurde. Dadurch waren



						15:32 Uhr	
Autoschle							
BMW	19.090	18.870	19.370	19.070	19.250	+ 0,2601	11
DAI	22.280	23.210	24.055	23.160	23.910	+ 0,6201	95
VOW	229.100	239.000	242.000	239.000	240.470	+ 1,3701	9
CON	17.690	17.450	18.250	18.990	17.170	- 0,5201	16
LEO	9.840	9.600	9.610	9.560	9.580	- 0,2601	4
Transportation & Logistics							
DPW	9.840	9.822	9.520	9.050	9.145	- 0,2951	41
WDR	22.906	22.606	22.600	22.600	22.600	+ 0,1001	1
LWR	10.345	10.330	10.310	10.105	10.170	+ 0,1751	17
TUI1	4.120	4.170	4.170	3.960	4.060	+ 0,0601	17
FRA	38.500	38.506	38.500	39.500	39.500	- 0,0001	1
Insurance							
ALV	63.640	63.550	64.680	62.370	62.040	- 0,6001	85
MOV2	109.300	107.080	107.980	104.300	105.110	+ 3,1901	32
HWS1	22.180	22.090-1	23.090	23.470	23.470	+ 0,2901	3

						15:32 Uhr	
Banks							
CEK	3.110	3.120	3.215	3.035	3.070	- 0,0401	440
DEK	18.145	17.950	18.550	17.110	17.370	- 0,7751	478
DPB	7.500	7.400	7.890	7.050	7.500	- 0,0001	157
HRX	2.050	2.040	2.040	1.920	1.980	- 0,0701	32
HRL	3.800	3.750	3.940	3.550	3.710	- 0,0901	30
Financial Services							
DB1	43.400	42.400	43.050	40.330	40.800	- 2,6001	38
QEG	22.400	22.000	22.420	22.000	22.420	+ 0,0201	1
GFJ	3.160	3.080	3.100	3.000	3.010	- 0,1501	7
IVG	5.230	5.230	5.280	5.020	5.020	+ 0,2101	5
MLP	7.610	7.700	7.720	7.690	7.650	- 0,0801	1
FOAX	4337,0	4330,0	4393,5	4293,0	4347,0	+ 10,0001	4663

anfangs europaweit zunächst vier Prozent mehr Kohlendioxid erlaubt als tatsächlich freigesetzt wurden. Zum „CO₂-Sparen“ gab es also keinen Anlass.

In Großbritannien, Dänemark, den Niederlanden und Deutschland haben wir die Wirkungsweise der Emissionspapiere detailliert untersucht. Ergebnis: Während britische Unternehmen das Ganze eher durch die „Finanzbrille“ betrachten und den Verkauf als zusätzliche Geldquelle sehen, werden anderswo Zertifikate verschenkt, weil man nichts damit anzufangen weiß. Wieder andere Firmen, meist Produktionsbetriebe, müssen ihre Emissionsrechte zwar teuer zukaufen, ändern aber nichts, weil sie den Aufwand fürchten und nicht wissen, was für sie am Ende teurer ist.

Unsere Untersuchungen zeigen: Obwohl viele Unternehmen mehr Zertifikate besitzen als notwendig, verkauft die Mehrheit diese nicht. In Deutschland blieben anfangs sogar fast drei Viertel der Unternehmen untätig. Der „Markt“ für CO₂ folgt also nicht der üblichen Logik, sondern wird völlig unberechenbar. Als Instrument für den Klimaschutz greift der Ansatz derzeit nicht.

Schade, denn die nächste Ausbaustufe – ein weltweiter Handel der Papiere – würde auch einen Lastenausgleich ermöglichen: Unternehmen in Entwicklungsländern könn-

ten nicht benötigte Zertifikate an Industrieländer verkaufen und mit den Einnahmen eigene Klimaschutzmaßnahmen finanzieren.

Allerdings fehlt es schon jetzt in Europa an effizienten Kontrollen, dass tatsächlich nur so viel CO₂ ausgestoßen wird, wie die Quote erlaubt. Auch kommt es über Ländergrenzen hinweg immer wieder zu Steuerbetrug.

Fazit: Der Handel mit Emissionsrechten ist ein komplexes Instrument, das trotz EU-weit gleicher Regeln erhebliche nationale Unterschiede hervorbringt. Dem Klima hilft es nur, wenn die Zertifikate knapp und die Kontrollen gut sind. Zweifel an einer weltweiten Realisierbarkeit sind durchaus angebracht.

Prof. Anita Engels ist stellvertretende Sprecherin des Exzellenzclusters und Direktorin am Centrum für Globalisierung und Governance.

Risse machen Polareis schneller

Eis ist stets steif und steinhart? Weit gefehlt. Die Gletscher der Antarktis sind immer in Bewegung. Noch bei minus 17 Grad kann man sich dieses Eis beinahe wie Honig auf einem Brot vorstellen – als träge, aber durchaus bewegliche Masse.

Und genau wie Honig fließt auch Eis bei höheren Temperaturen etwas schneller. Muss man also bei einer globalen Temperaturerhöhung fürchten, dass Gletscher rascher Richtung Meer fließen?

In unserem Untersuchungsgebiet, dem antarktischen Fimbulisen, strömt das Eis vom höher gelegenen Land rund 250 Kilometer weit hinaus auf den Ozean. Hier bildet es massive Eisplatten, die mehrere hundert Meter dick werden können. Dieses so genannte Schelfeis bleibt fest mit dem Gletschereis an Land verbunden, schwimmt aber auf dem Ozean und bewegt sich sogar mit den Gezeiten auf und ab. An den Kanten brechen von Zeit zu Zeit Eisberge ab: Das Eis kalbt.

Um zu verstehen, ob sich durch den Klimawandel das Schelfeis insgesamt zurückzieht, untersuchen wir in der Arbeitsgruppe Glaziologie am KlimaCampus, welche Bedin-



gungen das Eis schnell oder langsam machen.

Das Fimbulisen ist wohl das kälteste Schelfeis der Welt. Trotzdem fließt es mit 700 Metern pro Jahr auffallend schnell – was es aufgrund seiner geringen Temperatur eigentlich nicht dürfte. Was also macht das Eis so rasant? Auf Satellitenbildern fallen ganz unterschiedliche Strukturen auf: Neben leicht zerfurchten Gebieten liegen Flächen mit massiven Rissen. Unklar war bislang, wie der mächtige Eiskörper unter der Oberfläche aussieht. Setzen sich die Strukturen und Risse fort? Wird das Eis dadurch weicher und fließt schneller?

Unser Team nutzte Daten, die zwölf Jahre lang durch Radarflüge des Bremerhavener Alfred-Wegener-Instituts gewonnen wurden. Ein wissenschaftlicher Glücksfall, denn die Informationslage ist normalerweise recht spärlich. Die Radarstrahlen durchdringen das Eis und liefern genaue Angaben über die innere Struktur. Zum Beispiel fanden wir für ein bestimmtes Furchenmuster heraus, dass es zwar oberflächlich aus Wellen bestand, tiefer im Eis jedoch keine Risse auftraten.

Insgesamt identifizierten wir 26 verschiedene Oberflächen, von denen wir jetzt die innere Struktur kennen. Im nächsten Schritt wurde in einem Rechenmodell jeder Zone ein bestimmter Faktor für die Weichheit zugeordnet. Eine

knifflige Sache, da sich benachbarte, aber auch entfernte Flächen gegenseitig beeinflussen. Dennoch gelang es uns, das reale Fließen des Gletschers nachzubilden. Das ist ein Indiz dafür, dass wir die innere Stabilität des Eises richtig eingeschätzt haben. Die Erkenntnisse lassen sich direkt auf andere Eisflächen übertragen.

Von der inneren Stabilität der Schelfeise hängt ihre Rückhaltekraft für das Landeis ab. Steigen die Temperaturen, rinnt Schmelzwasser in die Eisfurchen und erzeugt großen Druck. Das Schelfeis bricht schneller, zieht sich zurück und Landeis kann „nachrücken“ – die Folge: Der Meeresspiegel steigt.

Prof. Angelika Humbert vom Institut für Geophysik leitet die Nachwuchsgruppe „Glaziologie“.



Per Röntgenblick unters Walddach geschaut

Regenwälder müssen geschützt werden, denn Entwaldung führt zu klimaschädlichen Emissionen. Doch wie kontrollieren? Bisher zeigten Satellitenbilder nur die Fläche der Baumkronen. Eine neue Methode deckt jetzt auch das Baumfällen im Unterholz auf.

Täglich verschwinden etwa 200 Quadratkilometer Wald von der Erdoberfläche, dies entspricht ganz Altona und Hamburg-Mitte zusammengenommen. Diese Waldzerstörung, die vor allem in den Tropen und Subtropen stattfindet, führt nicht nur zum Verlust wertvoller Ökosysteme, sondern setzt auch große Mengen klimaschädliches Kohlendioxid frei. Etwa ein Fünftel der globalen Treibhausgasemissionen wird durch Entwaldung verursacht.

Meine Kollegen vom KlimaCampus und ich haben jetzt eine Methode entwickelt, um die Zerstörung der Wälder und den damit verbundenen Anstieg der Kohlenstoffemissionen regional besser zu erfassen. Denn nur zu oft erleben wir bei der Bestandsaufnahme von tropischen Wäldern eine böse Überraschung. So zeigen uns Satellitenbilder möglicherweise eine geschlossene Decke von Baumkronen – der Wald scheint völlig unberührt. Doch wie Kulissen im

Theater uns nur etwas vorgaukeln, so hält auch die „Fassade“ im Regenwald manchmal nicht, was sie verspricht. Bei Stichproben vor Ort stellen wir häufig fest, dass unterhalb der obersten Kronenschicht gezielt Bäume entnommen wurden. Diesen Vorgang bezeichnen wir als Degradierung.

Dies mag auf den ersten Blick harmlos scheinen, doch auch eine solche Nutzung ist problematisch. Tatsächlich ist mindestens die Hälfte der Emissionen aus Waldzerstörung auf diese „kleinen“ Entnahmen zurückzuführen. Darüber hinaus reduziert auch eine Degradierung von Wald bereits die Artenvielfalt und verschiebt die Balance des Ökosystems. Weltweit betrachtet sind die so geschädigten Flächen sogar größer als alle Kahlschlaggebiete zusammengenommen.

Deshalb sahen auch die Teilnehmer der Weltklimakonferenz 2009 in Kopenhagen hier Handlungsbedarf. So werden Länder mit tropischen und subtropischen Wäldern künftig einen finanziellen Bonus bekommen, wenn sie sowohl Kahlschlag als auch Degradierung reduzieren. Kahlschläge lassen sich problemlos aufspüren, für die Degradierung fehlte bisher allerdings die Methode.

In meiner Arbeitsgruppe haben wir erstmals ein solches Verfahren entwickelt, mit dem wir quasi per „Röntgenblick“ unter die Baumkronen blicken können. Dazu

nutzen wir den deutschen Satelliten TerraSAR-X, der mit Radartechnik arbeitet. Sein Signal kann in die Waldkronen eindringen. Hier wird es unterschiedlich reflektiert und gestreut – je nachdem, ob viel oder wenig Unterholz vorhanden ist. Je schwächer das reflektierte Signal, desto dichter steht der Wald unter der Krone. Beim ersten Test im brasilianischen Regenwald staunte das Team: Nicht nur, dass unsere Analyse exakt die Zahl der tatsächlich entnommenen Bäume anzeigte – es waren sogar die Schleifspuren des Abtransports zu erkennen. Ein toller Erfolg. Die neue Methode soll jetzt in das Regelwerk des Weltklimarats der Vereinten Nationen aufgenommen werden.



Prof. Michael Köhl leitet das Institut für Weltforstwirtschaft.



Trockener Boden begünstigt Hitzewellen

Niederschlag, Temperatur, Verdunstung aus dem Boden und durch Pflanzen: Viele Faktoren beeinflussen das Klima über Land. Mit dem Blick von ganz oben, nämlich mit Hilfe der Satellitenfernerkundung, gewinnen die Forscher jetzt Informationen über dieses bodennahe Klima.

Eine wichtige Komponente ist der Wassergehalt im Boden. Fast jeder weiß: Wer erfrischt aus dem Badesee steigt, fängt trotz Sonnenschein oft leicht zu frösteln an. Woran das liegt? Wenn Wasser auf der Haut verdunstet, entzieht es dem Körper und der umliegenden Luft Wärmeenergie: Verdunstungskälte entsteht. Ähnlich verhält es sich mit der Feuchtigkeit im Boden. Kann Wasser verdunsten, so sorgt es für einen kühlenden Effekt an der Erdoberfläche. Je feuchter der Boden ist, desto länger bleibt es also kühl. Herrscht allerdings Wassermangel, heizt sich stattdessen die Luft stärker auf.

So auch im Rekordsommer 2003: Unsere Satellitendaten zeigten bereits im März, April und Mai stark verringerte Werte für die Bodenfeuchte – schon vor der Hitzewelle. Mit anderen Faktoren zusammen ist dies ein Indiz für eine kommende Hitzeperiode. Bindet man in Zukunft solche

Daten in Vorhersagemodelle ein, kann man Hitzewellen besser voraussagen und so die negativen Folgen mildern.

Als Großprojekt am KlimaCampus erstellen wir zurzeit einen Langzeit-Datensatz mit Klimainformationen ab 1980. Die Daten aus dem All sind jedoch nicht immer leicht zu interpretieren. Denn nachdem ein Satellit fünf bis zehn Jahre lang im Einsatz war, muss er abgelöst werden. Doch wie beim Auto ändern sich Technik und Modell beinahe jede Saison. Schlecht für die Kontinuität: In den Messreihen können „Sprünge“ auftreten, wenn ein neuer Satellit sendet.

Um die Daten trotzdem vergleichbar zu machen, entwickeln wir verschiedene Korrekturverfahren, eines davon nutzt Daten aus Wüstengebieten. Diese analysierten wir für mehrere Jahrzehnte und konnten davon ausgehen, dass die monotone Fläche die Sonne praktisch immer gleich reflektiert. Der hierzu vom Satelliten ermittelte Albedo-Wert (Rückstrahlvermögen) müsste also ebenfalls über die Jahre gleich bleiben. Ist dies nicht der Fall, gehen die Datensprünge offensichtlich auf den Satellitenwechsel zurück. Anhand der Abweichungen entwickelten wir so ein Korrekturverfahren. Mit Erfolg: Die Daten sind anschließend nicht nur präziser, wir können auch neue Klimaereignisse der Vergangenheit herauslesen. So ist jetzt der zeit-

liche Verlauf der Sahel-Dürre der 1970er und -80er Jahre deutlich zu erkennen.

Jeder einzelne Datensatz braucht dabei eine individuelle Korrektur. Im Team erzeugen wir deshalb jetzt den globalen Datensatz der vergangenen 30 Jahre – und zwar für jeden einzelnen Tag und Ort der Erde. Damit Forscher dann weltweit ihre Klimamodelle auf Genauigkeit überprüfen können, stellen wir die Daten im Internet frei zur Verfügung.

Dr. Alexander Löw vom Max-Planck-Institut für Meteorologie ist Spezialist für terrestrische Fernerkundung.







So werden Hurrikane berechenbar

Im Nordatlantik haben die so genannten Hurrikane in den letzten zwanzig Jahren nachweislich zugenommen, im Nordostpazifik dagegen gab es weniger Wirbelstürme. Welchen Einfluss hat der Klimawandel?

Wenn sich die Atmosphäre unterschiedlich stark erwärmt, gerät die Luft in Bewegung und es entsteht Wind. Nehmen Stürme also durch den Klimawandel künftig zu? Wie entwickeln sich die tropischen Wirbelstürme, die eine Windgeschwindigkeit von 400 Kilometern pro Stunde mitbringen und schon heute oft zu schweren Naturkatastrophen führen?

Tatsache ist, dass sich die Vorgänge in der Atmosphäre mit zunehmenden Temperaturen wandeln. Am Klima-Campus erforschen wir, was dabei genau passiert. Wo geht zum Beispiel die Wärmeenergie hin, die die Luft in Bewegung bringt?

Tropische Wirbelstürme, auch Zyklone, Hurrikane oder Taifune genannt, entstehen, wenn über dem Ozean große Mengen Wasser verdunsten und mit der warmen Luft aufsteigen. Mit der Erdrotation beginnt sich die feuchte Luft zu drehen und saugt von unten und außen immer mehr

feuchte Luftmassen an. Damit ein solcher Wirbel entsteht, muss die Wassertemperatur mehr als 26 Grad Celsius haben. Und während er außen seine zerstörerische Kraft entfaltet, herrscht innen, im „Auge“ des Sturms, nur ein schwacher Wind.

Je wärmer die Ozeanoberfläche ist, desto mehr Wasser verdunstet – der Luftwirbel wird intensiver. Wie stark ein Hurrikan wird, hängt aber auch davon ab, wie hoch die Luft aufsteigen kann. Spätestens an der Tropopause in etwa 17 Kilometern Höhe ist Schluss: Ab hier hält eine stabile horizontale Schichtung die feuchten Luftmassen zurück.

Allerdings wird sich im Zuge des Klimawandels die Tropopause in den Tropen voraussichtlich schneller erwärmen als die Oberflächen der Ozeane, so der Weltklimabericht des IPCC. Der Temperaturunterschied zwischen Ozean und Tropopause macht aber den Aufstieg der warmen Luft erst möglich – und könnte nun in Zukunft immer kleiner werden. Ob dies die Wirbelstürme intensiviert oder eher abschwächt, wollen wir herausfinden.

Hierzu teilen meine Kollegen und ich Hurrikane in drei Bereiche ein, die „Boxen“. Durch diese Vereinfachung lassen sich grundlegende Prozesse besser erkennen als in einem komplizierten Klimamodell. Für jede Box berechnen wir Temperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit.

Das warme Auge des Sturms ist eine Box, in der annähernd Windstille angenommen wird. Der umliegende „Augenwall“, die mittlere Box, ist sehr feucht und besteht hauptsächlich aus Wolken. Die Windgeschwindigkeit ist hier am größten. In der dritten, äußeren Box ist es kühler. Hier wird Feuchte von der Wasseroberfläche aufgenommen und strömt ins Zentrum.

Für uns ist interessant, wie viel Energie, als Wärme oder Wind, von einer Box in die andere fließt. So können wir berechnen, wie Hurrikane sich unter veränderten Bedingungen entwickeln – und auch den schlimmsten Fall prüfen.

Prof. Thomas Frisius ist Meteorologe und entwickelt mit seiner Arbeitsgruppe physikalische Modelle.

Die Elbe macht Überstunden

Die Sedimente der Elbe bauen kostenlos Nitrat ab, welches sonst in Kläranlagen entfernt werden müsste. Doch diese Funktion ist so gut wie erlahmt – was ist zu tun?

Die Elbe erfreut uns nicht nur mit maritimem Flair. Sie leistet auch „unbezahlte Überstunden“ in Sachen Umweltschutz, indem sie überschüssiges Nitrat abbaut. Dieses müsste sonst teuer in Kläranlagen entfernt werden. Allerdings ist diese Selbstreinigungsfunktion beinahe erlahmt, sie könnte aber reaktiviert werden. Denn auch mit Blick auf den Klimawandel sind Veränderungen in Flussmanagement und Hochwasserschutz angezeigt. Am KlimaCampus und am Helmholtz-Zentrum Geesthacht erforschen meine Kollegen und ich, wie solche Maßnahmen gleichzeitig die Ökodieleistung der Elbe wieder in Schwung bringen könnten.

Die Hauptrolle in flussinternen Reinigungsprozessen spielen die Sedimente am Boden. Allerdings wird die Elbe seit Jahrzehnten stark „gemanagt“: Für die Schifffahrt wurde sie ausgebaggert, Seitenarme wurden trockengelegt und Feuchtgebiete zwecks Landgewinnung eingedeicht. Der Fluss ist jetzt zentrierter, das Wasser läuft schneller, und



Sedimente können sich nur schwer ablagern.

Dabei wären sie wichtig: Aus der Landwirtschaft wird kontinuierlich Stickstoff in die Flüsse gespült, mehr, als viele Gewässer vertragen können. Das Überangebot in Flüssen und im Küstenmeer ist fatal: In Form von Nitrat kurbelt es die Produktion von Algen an. Sinken diese später tot zu Boden, führt dies dort aufgrund des bakteriellen Abbaus zu akutem Sauerstoffmangel und das Leben im Gewässer stirbt. In Sedimenten leben jedoch Bakterien, die den Sauerstoff aus dem Nitrat nutzen können – und dabei den unerwünschten Dünger abbauen.

Entlang der Elbe und bis ins Wattenmeer hinein nahmen wir im Jahr 2009 zu verschiedenen Jahreszeiten Proben. Im Fluss selbst war es schwer, überhaupt noch natürliche Sedimente zu finden. Im Labor ermittelten wir anschließend mit „markiertem“ Stickstoff die unterschiedlichen Reinigungs-Kapazitäten der Sedimente. Die Klärung funktioniert zum Beispiel in Sand besser als in Schlack und bei hohen Temperaturen besser als bei niedrigen.

Hinzu kommt, dass die Elbe ihr schädliches Nitrat weiter in die Nordsee trägt. Nach Berechnungen meiner Kollegin Astrid Deek kann das nordfriesische Wattenmeer auf einer Fläche von mehr als 1320 Quadratkilometern Nitrat abbauen. Eine vergleichbare Denitrifizierung in einer Klär-

anlage würde derzeit pro Kilogramm Stickstoff rund 8 Euro kosten. Das Wattenmeer leistet demnach Arbeit im Wert von etwa 130 Millionen Euro pro Jahr! Die Elbe hat dagegen ihre Rolle als Klärwerk weitgehend eingebüßt.

Mit dem Konzept „Tideelbe“ legten Stadt und Bund Mitte 2006 Eckpunkte für eine nachhaltigere Elb-Nutzung vor. Geplant ist, neben Schifffahrt und Hafenwirtschaft auch Hochwasser- und Naturschutz zu berücksichtigen. Um zum Beispiel das Wasser an der Mündung abzubremsen, sollen an strategischen Punkten in Fluss und Mündung Sedimente eingebracht werden. Ökodieleistungen wie der Nitratabbau wurden bei der Planung bisher nicht berücksichtigt. Sie würden aber tolle Synergieeffekte erzielen: Mit geeigneten Sanden nimmt die Elbe ihre Klärfunktion ganz von selbst wieder auf.

Prof. Kay Christian Emeis leitet das Institut für Küstenforschung am Helmholtz-Zentrum Geesthacht.



Vulkanasche bringt Algen zum Blühen

Wenn wir im Frühjahr unseren Rasen düngen, dürfen wir erwarten, dass sich das Grün daraufhin prächtig entwickelt. Doch was passiert, wenn mehrere Megatonnen eisenhaltiger Asche nach einem Vulkanausbruch auf den Ozean niederregnen? Eisen ist nämlich neben Phosphat und Stickstoff der Hauptbestandteil solcher Pflanzendünger.

Dieser Frage gehen wir im Institut für Geophysik am Klima-Campus nach – nicht erst, seit der Eyjafjallajökull den europäischen Flugverkehr durcheinander brachte. Gegenstand unserer Untersuchungen ist der Vulkan Kasatochi, der 2008 auf den Aleuten ausbrach. Die Inselgruppe zwischen Asien und Nordamerika gehört mit ihren rund 80 Vulkanen zum nördlichen Teil des pazifischen Feuerrings.

Damals ließ sich auf Satellitenbildern eine massive Algenblüte im Golf von Alaska beobachten, die zwei bis drei Monate andauerte. Da in dieser Region das Wachstum der Algen normalerweise durch zu wenig Eisen begrenzt ist, vermuteten wir einen Zusammenhang. Doch kann eine Aschewolke den weiten Weg quer über den Ozean zurücklegen? Und reicht die Konzentration dann noch aus, um einen nennenswerten Effekt hervorzurufen?

Tatsächlich zeigen unsere Berechnungen, dass innerhalb der 17 Stunden, die der Ausbruch damals dauerte, bis zu 600 Megatonnen Asche in die Luft geblasen wurden. Diese enthielten rechnerisch genug Eisen, um die Algenblüte vor Alaska verursacht zu haben. Zumal die Aschesäule bis in 15 Kilometer Höhe reichte, was einen Ferntransport begünstigt. Zum Vergleich: Der Eyjafjallajökull spuckte zwar länger als einen Monat lang Asche, die Menge pro Zeiteinheit betrug jedoch weniger als ein Zehntel.

Interessant ist, dass eine Messboje vor Alaska im fraglichen Zeitraum auch eine Abnahme des Treibhausgases Kohlendioxid im Meerwasser registrierte. Das CO₂ wird von Algen beim Wachstum in ihre Biomasse eingebunden. Die niedrigen Werte sind daher ein weiteres Indiz, dass die biologische Aktivität nach dem Vulkanausbruch offenbar angekurbelt wurde. Schiffsausfahrten in der Region zeigten ein ähnliches Bild: Wissenschaftler beobachteten ein besonders starkes Algenwachstum, erhöhte pH-Werte und weniger CO₂ im Wasser.

Doch kann ein Vulkanausbruch eine Algenblüte hervorrufen, die so viel Kohlendioxid verbraucht, dass dies unser Klima beeinflusst? Am KlimaCampus planen wir dazu weitere Untersuchungen: Wie hoch sind die Mengen an Eisen- und Phosphatsalzen in der Asche? Gibt es Bedingungen, die

die Bildung der Salze begünstigen? Klimamodelle helfen uns, die Ergebnisse mit weiteren Faktoren zu verknüpfen. So stehen zum Beispiel im Winter eher mehr Nährstoffe, aber weniger Sonnenlicht zur Verfügung – eine „Düngung“ brächte hier keinerlei Klimaeffekt.



Dr. Bärbel Langmann ist Expertin für Spurenstoffe in der Atmosphäre am Institut für Geophysik.



Setzen Moore mehr Treibhausgase frei?

Moore speichern gigantische Mengen an Kohlenstoff. Könnten durch eine globale Temperaturerhöhung zusätzlich Treibhausgase freigesetzt werden? Sicher ist, der Klimawandel wirkt auch auf die Moore.

Immer wieder erstaunen die Funde von Moorleichen durch ihre Lebensechtheit, „Schuld“ daran ist der Luftabschluss. Aus dem gleichen Grund spielen Moore eine wichtige Rolle im Klimasystem: Weil im Moorboden der Sauerstoff fehlt, können Mikroorganismen organische Verbindungen nur sehr langsam abbauen, sodass sich der enthaltene Kohlenstoff über Jahrhunderte in riesigen Mengen anreichert – und nicht als klimaschädliches CO₂ frei wird.

In den letzten Jahren wird immer deutlicher, wie wichtig Moore als dauerhafte Lagerstätten für Kohlenstoff sind. Doch wie stabil ist dieser Puffer? Trocknen die Flächen im Zuge der Erderwärmung aus, könnte organische Substanz verstärkt abgebaut werden. Dabei würden nicht nur große Mengen CO₂ frei, sondern auch verstärkt Methan. Dessen Treibhauswirkung ist auf 100 Jahre gerechnet noch 25 Mal stärker als die von Kohlendioxid.

Inwieweit Moore künftig als Speicher oder als Quelle für Treibhausgase wirken, wird unter Wissenschaftlern noch diskutiert. Meine Kollegen vom KlimaCampus und ich haben festgestellt, dass es dabei wesentlich auf den lokalen Wasserhaushalt ankommt. Denn Kohlenstoff wird nicht nur zwischen Boden und Atmosphäre ausgetauscht, sondern auch in Wasser gelöst transportiert. In der russischen Tundra unterscheiden wir zwischen „uplands“ und „lowlands“. Beide sind im Winter gefroren, doch während im Hochland im Sommer Kohlenstoffverbindungen teilweise seitlich abfließen, staut sich im Flachland das Wasser über dem verbleibenden Dauerfrost und der Kohlenstoff wird gehalten.

Unser Ziel ist es, die Feuchtgebiete so weit zu charakterisieren, dass wir sie in neue Klimamodelle einbringen können. In herkömmlichen Modellen fehlen diese Gebiete bisher – und das, obwohl Moore weltweit etwa 550 Gigatonnen Kohlenstoff beherbergen und sehr viel länger halten können als Wälder.

Im russischen Lenadelta untersuchten wir im Jahr 2010 Schmelzwasserseen, die sich im Sommer über Permafrostböden bilden. Diese biologisch sehr aktiven „Hotspots“ setzen besonders viel Kohlenstoff um und entlassen ihn als Kohlendioxid oder Methan in die Luft. Gleichzeitig nagt





dort die Erosion an der Landschaft, sodass Wärme und Wasser umso schneller eindringen können.

Verstärkt wird die Entwicklung, wenn sich mit dem Klimawandel die Vegetation verändert. So könnten mehr Büsche in der russischen Tundra dazu führen, dass sich Schneedecken anhäufen und die Böden im Winter weniger auskühlen. Durch solche Rückkopplungen gelangen wir womöglich an so genannte „tipping points“, an denen sich allmähliche Veränderungen plötzlich abrupt beschleunigen. In anderen Fällen entstehen gegenläufige Effekte, die den Prozess dämpfen. Die neuen Modelle sollen uns helfen, dies künftig besser abzuschätzen.

Junior-Prof. Lars Kutzbach vom Institut für Bodenkunde untersucht Moore in Russland und Sibirien.

Bildnachweis

© Juvliina/Photocase (Titel), © iStockphoto/andersen_oystein (Rückseite l., S.48/49), © iStockphoto/JohnnyLye (Rückseite r., S.26/27), © iStockphoto/oversnap (Titel innen, S.1), © Torben Riehl (S.4/5), © Getty Images (S.7), © iStockphoto/_arhon (S.10), © iStockphoto/toos (S.13), © iStockphoto/satori13 (S.15), © Getty Images (S.16), © Stephan Hoferer, mit freundlicher Genehmigung der Badischen Zeitung (S.18/19), © iStockphoto/eldadcarin (S.23), © NASA (S.31 o.), © iStockphoto/Brasil2 (S.31 u.), © Annette Grewe (S.32/33), © iStockphoto/RelaxFoto.de (S.37 o.), © iStockphoto/selimaksan (S.37 u.), © NASA (S.38/39), © iStockphoto/barmixmaster (S.40), © www.mediaserver.hamburg.de/ C. Spahrhier (S.45 o.), © M. Ankele (S.45 u.), © iStockphoto/guenterguni (S.53 o.), © Darkmagic. Lizenziert unter Creative Commons CC-BY-SA 2.5 (S.53 u.), © Fotolia/Cachaco (S. 54), © Inken Preuss (S.57), © Peter Schreiber (S.58)

Herausgeber

KlimaCampus, Universität Hamburg
Exzellenzcluster CliSAP

Redaktion

Stephanie Janssen, Ute Kreis, Öffentlichkeitsarbeit
Exzellenzcluster CliSAP

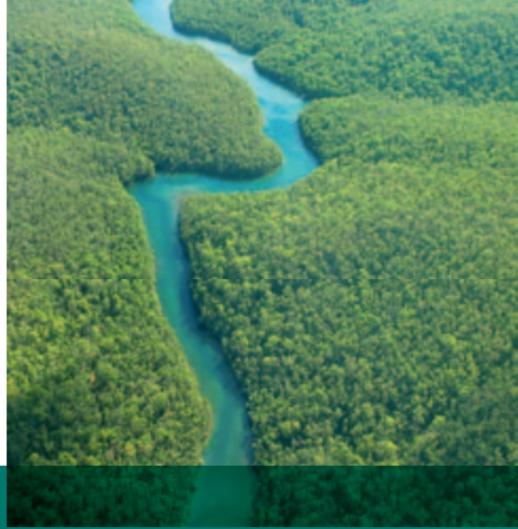
Gestaltung

HAAGEN design, www.haagendesign.de

Auflage: 3.000

Hamburg, 2011

mit freundlicher Unterstützung des Hamburger Abendblatts



Zum Inhalt

Warum leistet die Elbe unbezahlte Überstunden? Was zeigt uns der „Röntgenblick“ unter das Dach des Regenwaldes? Und wird sich der Klimawandel bis in die dunkle Tiefsee hinein auswirken?

In einer Artikelserie des Hamburger Abendblatts geben Wissenschaftler vom KlimaCampus der Universität Hamburg regelmäßig Antwort. Nach dem Erfolg von „Der Ozean ist kein Wasserglas“ im Jahr 2010 können Sie hier zehn neue Beiträge rund um die aktuelle Klimaforschung nachlesen.