



# Hören, wie die Erde knirscht

Zehn Klimaforscher berichten

Ein Lesebuch des Hamburger Exzellenzclusters CliSAP



## Hören, wie die Erde knirscht

Zehn Klimaforscher berichten

## Inhalt

4	Stadtklima
8	Schutzgebiete
14	CO <sub>2</sub> -Speicherung
20	Medien
24	Sturmfluten
30	Klimakonflikte
36	Sonnenflecken
42	Sahara
47	Ozeantemperatur
52	Klimakampagnen

## Endlich wieder Klimageschichten ...

Was haben Stadtbusse mit Wissenschaft zu tun? Wie lässt sich die Erde mit geophysikalischen Methoden „belauschen“? Woher wissen wir, dass sich die oberen Schichten des Ozeans im Zuge des Klimawandels erwärmt haben? Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Exzellenzclusters CliSAP betreiben Grundlagenforschung im Bereich Klima und Umwelt. Diese Wissensgrundlage hilft, Entscheidungen zu treffen – im Klimaschutz, in der Wirtschaft und beim Entwerfen von Anpassungsstrategien.

Die Ergebnisse dieser Forschung haben wir anschaulich und verständlich für Sie aufbereitet. Einmal im Monat erscheint dazu ein Gastbeitrag im Hamburger Abendblatt. Auf den folgenden Seiten können Sie zehn dieser Beiträge lesen.

Viel Vergnügen dabei!

## Stadtbusse im Dienst der Wissenschaft

Von Mai bis Oktober 2011 nutzten die Stadtklimaforscher des Instituts für Geographie 15 Busse der Hamburger Hochbahn für ein Projekt der besonderen Art: Ausgestattet mit Temperaturfühlern erfassten die Busse erstmals detailliert die Lufttemperatur im Innenstadtgebiet.

Zwar liefern vereinzelt, fest installierte Messstationen schon länger Temperaturwerte, doch noch nie gab es in Hamburg über einen längeren Zeitraum ein so dichtes Messnetz. Die genaue Position der Busse erfasste ein GPS-System.

Die Idee, Thermometer an Bussen des öffentlichen Verkehrsnetzes anzubringen, stammt von Geografen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. In Hamburg war die Messkampagne jedoch umfangreicher, ebenso die Auswertung der Datenflut. Doch die Mühe hat sich gelohnt: Zwar ist es nicht ungewöhnlich, dass an heißen Tagen ein Spaziergang im Stadtpark angenehmer ist als in der Innenstadt. Dass zwischen Altstadt und Winterhude aber Unterschiede von fünf Grad bestehen, hat uns dann doch überrascht. Weiter voneinander entfernte Straßenzüge weisen sogar Differenzen von bis zu elf Grad auf. Wie kann es zu solchen Schwankungen kommen?



Um diese Frage zu beantworten, legten wir die gemessenen Werte über einen von uns entwickelten Strukturplan Hamburgs, auf dem jeder Bebauungstyp, jeder Park und jeder Häuserblock festgehalten ist. Deutlich wird: Nicht nur im Stadtpark selbst ist es kühl, offenbar sorgt die größte zusammenhängende Grünfläche im Innenstadtbereich auch in umliegenden Stadtteilen für angenehmere Temperaturen. Ursache sind Bebauungsdichte, Baumaterialien, Anteil von Grün- oder Wasserflächen – all dies hat Einfluss auf das lokale Stadtklima.

Wo ist also der geeignete Ort für einen Park oder ein Altenheim? Durch die Kombination unserer Daten mit denen der festen Stationen, Satellitendaten sowie Angaben städtischer Behörden entsteht ein detailliertes Bild. Betrachten wir all diese Informationen, kann daraus in einigen Jahren ein Stadtklimamodell entstehen. Mit dessen Hilfe werden Stadtplaner entscheiden können, wo Häuser gebaut werden können und wo Windschneisen oder Grün- und Wasserflächen notwendig sind. Insbesondere so genannte Wärmeinseln, also Zonen in denen sich während einer Hitzeperiode auch nachts extreme Temperaturen halten, gilt es zu vermeiden.

Darüber hinaus helfen die Messwerte der Busse, Klimamodelle so zu verbessern, dass mittlere Temperaturände-

rungen der Zukunft auch für andere europäische Städte berechnet werden können, ohne dort erneut zu messen. Dabei spielt der räumliche Abstand zwischen den Messpunkten eine wichtige Rolle. Während bei globalen Klimamodellen eine Genauigkeit von etwa 100 Kilometern ausreicht, um die weltweite Temperaturverteilung darzustellen, sind beim Stadtklima viel kleinräumigere Berechnungen im 100-Meterbereich notwendig. Echtzeitdaten wie unsere helfen, diese Modelle zu verbessern und das Leben in der Stadt an künftige Klimaänderungen anzupassen.

---

Dr. Thomas Langkamp hat am Institut für Geografie promoviert.



## Landwirtschaft und Naturschutz in Einklang bringen

Fast 40 Prozent der weltweiten Landoberfläche werden derzeit für Ackerbau und Viehzucht genutzt. Unser Bedarf an Nahrung wirkt sich damit spürbar auf Klima und Ökosysteme aus.

Denn es gehen Wälder verloren, die große Mengen des Treibhausgases CO<sub>2</sub> binden. Gleichzeitig schwindet der Lebensraum für Tiere und Pflanzen, sodass immer mehr Arten vom Aussterben bedroht sind.

Wie lassen sich die Konflikte zwischen Landnutzung und Artenschutz reduzieren? Am Exzellenzcluster CliSAP entwickeln meine Kollegen und ich mathematische Modelle, die Wechselwirkungen von Nahrungsmittelproduktion und Naturschutz analysieren. Daraus können wir Empfehlungen für die Politik ableiten, wie sich wirtschaftliche und ökologische Interessen bestmöglich in Einklang bringen lassen.

Mit unserem so genannten Habitat-Modell untersuchen wir zum Beispiel geschützte Feuchtgebiete in Europa. Dabei spielen Kosten-Nutzen-Bilanzen eine wichtige Rolle. Denn um Lebensräume für Pflanzen und Tiere zu erhalten, müssen diese gepflegt und überwacht werden. Das kostet Geld.



Gleichzeitig entstehen Kosten, um Landwirte zu entschädigen, die auf Nutzfläche verzichten müssen. Wie viel Geld für Naturschutz und Ausgleichszahlungen bereitgestellt wird, hängt dabei von den politischen Rahmenbedingungen in der EU ab. Der Wert der Schutzgebiete wiederum wird daran gemessen, wie viele Arten geschützt werden und wie stark diese bedroht sind.

Es sind also viele Faktoren zu berücksichtigen, um ökonomisch wie auch ökologisch sinnvolle Entscheidungen zu treffen und die wertvollsten Feuchtgebiete zu erhalten. Entsprechend komplex ist unser Ansatz: Ein geografisches Modell liefert uns die Standortdaten der Feuchtgebiete, die wir in 2725 räumliche Zellen eingeteilt haben. Mithilfe der Populationsbiologie haben wir außerdem für 72 Tierarten die Anforderungen an ihren jeweiligen Lebensraum bestimmt, um diese mit den Zellen abzugleichen. Darüber hinaus fließen Daten über Nutzung und landwirtschaftliche Erträge der Flächen sowie Nachfrage und Preise in die Berechnungen ein. All dies verknüpfen wir in unserem Modell, sodass wir für die ausgewählten Tierarten die kostengünstigste Verteilung von Schutzgebieten errechnen können.

Doch das ist kompliziert: Unsere Rechner bearbeiten dafür knapp 150.000 mathematische Gleichungen mit fast

235.000 Variablen. Außerdem müssen wir berücksichtigen, dass sich Feuchtgebiete durch den Klimawandel verschieben. In den nächsten zwanzig Jahren wird sich dies noch nicht sehr deutlich abzeichnen. Langfristig werden die Änderungen in einigen Regionen jedoch stark ausgeprägt sein. Verliert ein geschütztes Gebiet dadurch seinen Schutzcharakter, ist es möglicherweise sinnvoller, ein anderes stabileres Gebiet zu fördern.

Unsere Forschung zeigt: Wird der Schutz von Feuchtgebieten europaweit abgestimmt, können bis zu 30 Prozent mehr Landfläche genutzt werden, ohne die ausgewählten Tierarten zu gefährden. So kann ein wirksames Netz von Schutzgebieten zu minimalen Kosten verwirklicht werden.

---

**Prof. Uwe A. Schneider** ist Agrarökonom am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN).



## Dem Knirschen der Erde lauschen

Wohin mit dem Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus Kohlekraftwerken? Gerade ist ein Gesetz verabschiedet worden, das die unterirdische Speicherung des Treibhausgases erlaubt.

Mit der so genannten CCS-Technologie wird das  $\text{CO}_2$  verflüssigt und mehrere hundert Meter tief eingelagert, sodass es die Atmosphäre nicht weiter anheizt.

Schon jetzt steht allerdings fest, dass die als Lagerstätte infrage kommenden Bundesländer ihr Veto einlegen werden. So fürchten viele Bürger, dass das Gas an der einen oder anderen Stelle doch wieder an die Oberfläche gelangt. Zwar ist Kohlendioxid nicht giftig, hoch konzentriert verdrängt es aber den Sauerstoff aus der Atemluft – und unter sehr ungünstigen Umständen könnte sich das Gas zu gefährlichen Konzentrationen sammeln. So geschehen vor einigen Jahren in Afrika, wo sich  $\text{CO}_2$  am Grunde eines mit Wasser gefüllten Vulkankraters angereichert hatte. In Deutschland ist dies wegen der grundlegend anderen Geologie aber nicht zu erwarten.

Dennoch kann eine schleichende Entgasung den Erfolg der  $\text{CO}_2$ -Einlagerung schmälern. Es kommt also darauf an, ein gutes Beobachtungsnetz aufzubauen. Doch wie lässt



CO2 Flüssig

CO2 Flüssig

sich feststellen, ob das Gas noch dort ist, wo wir es eingelagert haben, ob es sich im Erdreich ausbreitet oder wandert? Zusammen mit meiner Arbeitsgruppe am Exzellenzcluster CliSAP schicken wir dafür seismische Wellen in die Erde. Diese werden an den Erdschichten unterschiedlich reflektiert und wir schließen aus diesen Echos, wie der geologische Untergrund aufgebaut ist. Zusätzlich ist die Erdmasse permanent in Bewegung, macht also ohnehin beständig Geräusche. Die Erde knirscht, könnte man auch sagen, und wir hören ihr dabei zu.

So lässt sich erkunden, ob ein Standort für eine Lagerung überhaupt infrage kommt. Geeignet sind zum Beispiel so genannte saline Aquifere, Sedimentschichten, deren Poren mit Salzwasser gefüllt sind. In diese wird das flüssige Kohlendioxid gepresst und das Salzwasser in umliegende Schichten verdrängt. Dabei entsteht Druck, dem das umgebende Gestein standhalten muss. Entscheidend ist außerdem, dass die Lagerstätte einen stabilen, dichten Deckel hat, zum Beispiel aus tonigen Sedimenten, der das Gas an Ort und Stelle hält. Solche Bedingungen finden sich in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen.

Das „Ohr an der Erde“ hilft aber auch, Standorte zu bewerten. Wie groß ist die Sedimentschicht? Wo verläuft

sie und wie viel CO<sub>2</sub> kann sie aufnehmen? Nicht jede Lagerstätte lohnt den Aufwand. Dann muss man sehen: Das Verflüssigen und Verpressen von Kohlendioxid kostet Energie, setzt also weiteres Treibhausgas frei, bis zu einem Drittel des eingelagerten CO<sub>2</sub>. Keine Kleinigkeit angesichts der Menge, die gespeichert werden müsste, um einen messbaren Effekt zu erzielen.

Die CCS-Technologie löst das Klimaproblem nicht. Hier können nur Effizienz und die Nutzung regenerativer Energien helfen. Interessant ist das Verfahren als Zwischenlösung: Das Klimasystem ist träge und die im letzten Jahrhundert in die Luft geblasenen Treibhausgase haben ihre volle Wirkung noch gar nicht erreicht. Gelingt das Einlagern von CO<sub>2</sub>, könnte dies helfen, den Temperaturanstieg zwischenzeitlich etwas abzupuffern.

---

Prof. Dirk Gajewski ist Geophysiker am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN).

## Wie der Klimawandel in die Köpfe kommt

Während sich Osnabrück im Jahre 2100 als pulsierende Hafenstadt zeigt, ist Schleswig-Holstein längst vom Meer verschluckt. Dieser Trickfilm des NDR war eigentlich satirisch gemeint, hat jedoch einige Zuschauer verunsichert. Könnte dieses Katastrophenszenario vielleicht doch Realität werden?

Unsere Medien sind derzeit voll von Berichten zum Klimawandel, viele sachlich, manche überspitzt. Aber was kommt eigentlich beim Leser oder Hörer an? Und wie beeinflusst dies sein Verhalten?

Wenn der Klimawandel in Zukunft politische und wirtschaftliche Maßnahmen erfordert, müssen diese von den Bürgern akzeptiert und mitgetragen werden. Am Exzellenzcluster CliSAP untersuchen wir deshalb, welche Faktoren die eigene Einstellung zum Thema Klimawandel bestimmen und welche Rolle die Medien dabei spielen. Hören die Menschen zum Beispiel eher darauf, was die Zeitung schreibt – oder auf das, was Familie und Freunde denken? Ist wichtig, wie umweltbewusst jemand erzogen wurde – oder ob er an der sturmflutgefährdeten Küste wohnt?

Um dies herauszufinden, führten wir eine repräsentative Befragung mit 1500 Menschen durch. Wir ermittel-



ten, wie häufig sie welche Medien nutzen. Zum ersten Mal wurden auch „Wissensfragen“ zum Klimawandel gestellt. Die Probanden sollten dabei nicht nur selbst einschätzen, wie gut sie Bescheid wissen – dies wurde auch überprüft.

Ergebnis: Wer häufig Medien nutzt, ist schlauer in Sachen Klimawandel. Interessanterweise beeinflusst dies aber nicht die eigene Einstellung. Das bedeutet zum Beispiel, auch wenn die Risiken gut bekannt sind, ändert sich allein deshalb die Bereitschaft Verantwortung zu übernehmen oder zu handeln noch nicht.

Stattdessen sind zwei weitere Säulen für die Meinungsbildung von großer Bedeutung: der „soziale Rahmen“ und der „individuelle Rahmen“. Wie wichtig das Thema im Bekanntenkreis ist und was der „Mainstream“ denkt, beeinflusst das eigene Gewissen stärker als die neuesten Nachrichten. Den größten Einfluss hat allerdings, wie umweltbewusst man prinzipiell denkt und handelt – und wie stark das eigene Leben vom Klimawandel betroffen ist. Faktoren wie Alter, Bildung und Einkommen wirken dagegen kaum, wie unsere Studie zeigt.

Fakten überzeugen also nur dann, wenn sie emotional verknüpft werden. Die deutsche Berichterstattung zum Thema ist dagegen eher sachlich und rational. Und das ist gut so, denn Gruppengespräche mit Testpersonen zei-

gen, dass Mediennutzer ein bestimmtes Maß an Hintergrundwissen brauchen. Nur so können sie Beiträge wie die anfangs beschriebene NDR-Satire richtig deuten.

In einem Folgeprojekt wollen wir jetzt herausfinden, auf welchem Weg Informationen zur Meinungsbildung beitragen können. Vermutlich ist wichtig, wie ein Medienbeitrag „verarbeitet“ wird. Wer mit Freunden anschließend darüber debattiert, wird womöglich stärker emotional berührt. Gleichzeitig können Berichte mit konkret lokalem Bezug – wie: „Klimawandel auch in meinem Garten?“ – direkt die eigene Person und damit die Emotionen ansprechen.

---

Dr. **Monika Taddicken** arbeitete als Kommunikationswissenschaftlerin am Exzellenzcluster CIISAP.

## Hamburger fürchten Sturmfluten mehr als Klimawandel

Fast jede zweite Hamburgerin und jeder zweite Hamburger halten es für möglich, dass sie in der Zukunft durch eine Naturkatastrophe persönlich betroffen sein könnten. Die schwersten Folgen befürchten sie dabei im Falle einer Sturmflut.

Schäden, die durch Stürme, Starkregen oder Hitzewellen drohen, schätzen die meisten Menschen dagegen als weniger gefährlich ein. Das zeigt unsere Umfrage zum Thema Klimawandel und möglichen Folgen, für die wir seit 2008 jährlich 500 Hamburgerinnen und Hamburger interviewen.

Insgesamt haben unsere Untersuchungen ergeben, dass die Angst vor dem Klimawandel seit 2008 zurückgegangen ist: Aktuell sehen 44 Prozent der Hamburger im Klimawandel eine Bedrohung für unsere Stadt. Vor vier Jahren waren es noch 61 Prozent. Die Gefahr durch Sturmfluten halten die Bürger dagegen nach wie vor für am höchsten.

Dabei hat sich der Klimawandel auf die Sturmfluten an der Nordsee bisher kaum ausgewirkt. Sicher ist aber, dass diese durch einen steigenden Meeresspiegel bis zum Ende





stilwerk

stilwerk BRÜCKE

ZONE

- Straße

Martina

dieses Jahrhunderts drei bis elf Zentimeter höher auflaufen könnten.

Interessant: Die älteren Hamburger, die zum Teil noch Zeitzeugen von 1962 sind, schätzen das Risiko, von einer Naturkatastrophe persönlich betroffen zu sein, geringer ein als 14 bis 29-Jährige. Tatsächlich ist der derzeitige Küstenschutz voraussichtlich bis 2030 wirksam. Zudem hat sich das Verständnis verändert, wie in Hamburg Hochwasserschutz organisiert sein sollte: Früher war es die alleinige Aufgabe der Stadt, die Menschen mit einer geschlossenen Deichlinie zu schützen. Kam sie ihrer Pflicht nicht nach beziehungsweise waren die Deiche unzureichend wie 1962, waren große Teile der Bevölkerung gefährdet.

Heute müssen neben der Stadt auch private Grundbesitzer Verantwortung übernehmen. Bestes Beispiel ist die Hafencity: Hier hat die Stadt Hamburg einerseits durch Aufschüttungen das Straßenniveau um 1,5 Meter angehoben, um das Areal gegen Sturmfluten zu schützen. Andererseits muss jedes der modernen Gebäude, die dort entstehen, zusätzlich ein eigenes Hochwasserschutzkonzept vorweisen – etwa Flutschotten in den unteren Geschossen oder Parkplätze, die gefahrlos überflutet werden können.

Allerdings haben Untersuchungen der Universität Hamburg und des Helmholtz-Zentrums Geesthacht auch

Schwachstellen aufgezeigt. Mit dem Klimawandel steigt zum Beispiel das Risiko von Starkregenereignissen. Schutzmaßnahmen dürfen sich daher nicht auf die Elbe beschränken. Auch kleinere Gewässer wie Wandse oder Bille können bei Starkregen plötzlich über die Ufer treten, die Entwässerung erschweren und Gebäude in Gefahr bringen.

Was dies für Wassermanagement und Hochwasserschutz in Hamburg bedeutet, wurde bisher wenig beachtet.

---

**Prof. Beate Ratter** forscht als Geografin an der Universität Hamburg und am Institut für Küstenforschung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht.

## Dürren verschärfen die Konflikte in Kenia

„Ein Leben ohne Überfälle? Daran kann ich mich nicht erinnern.“ Von dieser Erfahrung haben mir viele Viehzüchter aus Turkana berichtet.

In der ärmsten Region Kenias hat die Gewalt zwischen nomadischen Hirtenvölkern deutlich zugenommen. Wasser und Weideland sind hier so knapp, dass sich die Stämme gegenseitig das Vieh stehlen. Regelmäßig treiben sie ihre Tiere auch in die angrenzenden Länder Uganda, Südsudan und Äthiopien. Kaum ein Monat vergeht, ohne dass bei den Verteilungskämpfen Menschen getötet oder verwundet werden.

Die Situation wird sich voraussichtlich noch verschärfen, denn in Nordkenia erwärmt sich das Klima anderthalb Mal so schnell wie im globalen Durchschnitt: Die mittlere Temperatur ist in den letzten 50 Jahren um ein Grad gestiegen. In Kombination mit stärkeren Niederschlagsschwankungen wird die Erwärmung voraussichtlich zu mehr Dürren und Überflutungen führen.

Wie sich die Klimaänderungen auf Konflikte in Nordkenia auswirken und was für eine friedliche Anpassung getan werden kann, untersuche ich in meiner Doktorarbeit.





Dazu habe ich Wetter- und Konfliktdaten der Region analysiert. Zudem habe ich fünf Monate lang vor Ort 166 Personen zu den Konflikten befragt – darunter Experten von Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen sowie Mitglieder der betroffenen Dorfgemeinden. Als eine der Hauptursachen für die Gewalt nennen sie die immer häufigeren und längeren Dürren.

Erst 2011 wütete eine schwere Dürre und Hungerkrise am Horn von Afrika. Etwa alle zwei bis drei Jahre gibt es eine ausgeprägte Dürre. Diese hohe Frequenz lässt den Hirten wenig Zeit, sich zu erholen. Meine Analysen zeigen, dass mit den Dürren auch die Konflikte zunehmen. Allerdings finden die meisten gewalttätigen Viehdiebstähle in Zeiten mit ausreichend Regen statt. Dies überrascht vielleicht, macht aber Sinn. Denn die extremen Trockenphasen erhöhen den Druck auf die Hirten, rechtzeitig vorzusorgen und ihre Herden aufzustocken. Wenn es geregnet hat, bietet die Vegetation den Angreifern Schutz. Vor allem aber sind die Tiere nun kräftig genug, um den Transport vom gegnerischen zum eigenen Lager durchzustehen. In trockenen Perioden dagegen sind die Viehzüchter damit ausgelastet, ihre Tiere am Leben zu halten – das bedeutet weniger Angriffe.

Dass die Gewalt insgesamt zunimmt, liegt auch an

der politischen Situation in Kenia: Korruption, Armut und die Vielzahl ethnischer Gruppen begünstigen Konflikte und beeinträchtigen die Anpassung an den Klimawandel. Außerdem sind Waffen in Nordkenia verbreitet und leicht zu bekommen. So haben sich auch die Viehzüchter mit Gewehren ausgerüstet. Bisher hat die kenianische Regierung kein Mittel gefunden, die Kämpfe in den Griff zu bekommen. Außerdem erschweren Unterentwicklung sowie mangelnde Bildung und Infrastruktur die Anpassung an den Klimawandel.

Eine friedliche Klimaanpassung könnte gelingen, wenn sich die Hirten mit ihrem Vieh auch über Staatsgrenzen hinweg sicher bewegen können. Ob es gelingt, dies zu gewährleisten, ist fraglich.

---

**Dr. Janpeter Schilling** forscht in der Arbeitsgruppe „Klimawandel und Sicherheit“ am Institut für Geografie.

## Warum Sonnenflecken das regionale Wetter beeinflussen

Für Galilei waren es vorbeiziehende Wolken, andere Astronomen hielten sie für Schlackehaufen: Dunkle Flecken auf der Sonne sind seit dem 17. Jahrhundert gut dokumentiert.

Später entdeckten Wissenschaftler, dass die Sonnenflecken im Rhythmus von elf Jahren häufiger werden, und die Sonne dann auch stets stärker strahlte. Da jedoch die mittleren Schichten der Atmosphäre den Großteil dieser Strahlung abfangen, kann sich der Effekt kaum auf Wetter und Klima auswirken. Oder?

„Der Schwanz wedelt doch nicht mit dem Hund“, heißt es unter Meteorologen, wenn sie die Wechselwirkungen der verschiedenen Schichten der Atmosphäre beschreiben. Der „Hund“, das sind die unteren zehn Kilometer über dem Erdboden – die so genannte Troposphäre – in der sich Wetter und Klima hauptsächlich abspielen. Sie beeinflusst die darüber liegenden Schichten massiv. Umgekehrt dachte man lange Zeit, dass die mittleren und oberen Schichten kaum nach unten hin wirken. Am Exzellenzcluster CliSAP konnten wir nun aber doch einen indirekten Einfluss nachweisen – der „Hund“ hat also nicht allein das Sagen.

In Jahren erhöhter Sonnenaktivität erwärmt sich die Luft in 50 Kilometern Höhe um ein bis zwei Grad Celsius. Am Boden steigt die Temperatur dagegen nur um rund 0,1 Grad. Die zusätzliche Strahlung hat nur einen geringen Einfluss auf die mittlere Temperatur am Boden, weil sie nahezu komplett in der mittleren und oberen Atmosphäre absorbiert wird. Regional treten allerdings deutliche Effekte auch in Bodennähe auf – in eben diesem Elf-Jahres-Rhythmus. Wie kommen sie zustande?

Diese Prozesse genau zu verstehen und mit Hilfe von Rechenmodellen zu simulieren, ist mein Ziel. Eine komplexe Aufgabe mit unglaublich vielen „Mitspielern“: zum Beispiel der zirkulierende Wind über dem Nordpol.

Dieser so genannte Polarwirbel beeinflusst Wetter und Klima stark. In diesen Breiten wirkt sich die erhöhte Sonnenaktivität allerdings viel schwächer aus, da an den Polen ja grundsätzlich weniger Strahlung eintrifft. Dadurch verstärkt sich der bestehende Temperaturunterschied zwischen der Luft am Äquator und an den Polen noch weiter, was wiederum den Polarwirbel kräftigt: Ein Motor für wärmere Winter in Europa. Gleichzeitig verlangsamen sich die großen Zirkulationsbewegungen in der mittleren Atmosphäre, wodurch sich die Luft der Tropen in etwa 20 Kilometern Höhe erwärmt. Dies beeinflusst wiederum



subtropische Winde in Bodennähe und damit das regionale Wetter.

Unser Fazit: Ein Signal der Sonne aus etwa 50 Kilometern Höhe, der „Hundeschwanz“ sozusagen, erzeugt tatsächlich einen Effekt in der viel tiefer gelegenen Troposphäre. Beides konnten wir jetzt erstmals im Rechenmodell stimmig verknüpfen. In Jahren mit vielen Sonnenflecken werden also durchaus Wetter und Klima regional beeinflusst. Zur fortschreitenden Erwärmung der Erde trägt dieser Effekt allerdings nicht bei, dafür ist sein Einfluss auf die globale Durchschnittstemperatur viel zu gering.

---

**Dr. Hauke Schmidt** ist Geophysiker am Max-Planck-Institut für Meteorologie.



## Die Sahara in der Trockenfalle

Im frühen und mittleren Holozän – vor 10.000 bis 6.000 Jahren – war die Sahara deutlich feuchter und grüner als heute. Der Temperaturunterschied zwischen Land und Ozean sorgte für einen Monsun mit reichlich Niederschlag.

Vor etwa 5.500 Jahren begann die Vegetation zu schrumpfen. Doch warum starben die Pflanzen in Nordafrika? Und handelte es sich dabei um eine plötzliche Veränderung oder einen schleichenden Prozess?

Da es für diese Zeit kaum Beobachtungen gibt, simulieren Wissenschaftler die damalige Situation mithilfe von Klimamodellen. Um die Ergebnisse dieser Berechnungen besser zu verstehen, entwickle ich Fallbeispiele und Methoden, mit denen sich schnelle Übergänge im Klimasystem erklären lassen. Außerdem suche ich nach sogenannten Hotspots – kritischen Gebieten, wo der Vegetationskollaps im Modell seinen Ursprung hat.

Bekannt ist, dass der Monsun schwächer wurde, weil sich die Ausrichtung der Erde zur Sonne änderte – und damit den Umbruch in der Sahara bewirkte. Die Modelle liefern aber ein mehrdeutiges Bild, wie schnell dieser Übergang ablief. Möglicherweise fand er an einigen Orten

viel schneller statt als die Änderung der Erdumlaufbahn erwarten ließe.

Dies lässt sich durch Rückkopplungen im Klimasystem erklären – Prozesse, die sich selbst verstärken und beschleunigen: Als es in der Sahara noch genug Pflanzen gab, saugten sie mit ihren Wurzeln das Wasser aus dem Boden und „schwitzten“ es in die Luft aus. Außerdem wurde von der dunkleren Landoberfläche mehr Sonnenlicht aufgenommen. Durch diese Energiezufuhr konnte die Luft aufsteigen, sodass sich Regenwolken bildeten. Die Pflanzen sorgten zum Teil also selbst für Regen. Als der Monsun schwächer wurde, starben viele Pflanzen. Dies verstärkte die Austrocknung der Sahara zusätzlich.

Auch andere Elemente im Erdsystem wie die Ozeanzirkulation können sich plötzlich ändern. Die Zusammenhänge und Rückkopplungen sind jedoch kompliziert. Um die physikalischen Vorgänge richtig in den Klimamodellen abzubilden, sind Methoden nötig, mit denen sich die Modelle prüfen lassen. Am Beispiel Sahara untersuche ich deshalb, unter welchen Bedingungen sich das Klima abrupt geändert haben könnte. Dabei ist es wichtig, natürliche Klimaschwankungen zu berücksichtigen.

Um dies zu erforschen, verknüpfe ich ein Rechenmodell für die Atmosphäre mit einem Modell, das Änderungen



der Vegetation beschreibt. Ergebnis: Es gibt verschiedene Zeitpunkte und Orte, an denen ein Vegetationskollaps stattgefunden haben könnte. Im Modell wirken natürliche Klimaschwankungen im grünen Zustand paradoxerweise stabilisierend. Wird aber eine kritische Niederschlagsmenge unterschritten, sinkt auch die natürliche Variabilität. Das Klima bleibt dann im trockenen Zustand gefangen.

Doch kann man plötzliche Klimaänderungen künftig auch vorhersagen? Und wird die Sahara wieder grün? Um dies abschließend zu beantworten, ist es noch zu früh. Theoretische Studien können aber helfen, die Modelle zu verbessern und die Warnsignale des Klimasystems zu erkennen.

---

Dr. Sebastian Bathiany forscht am Max-Planck-Institut für Meteorologie.

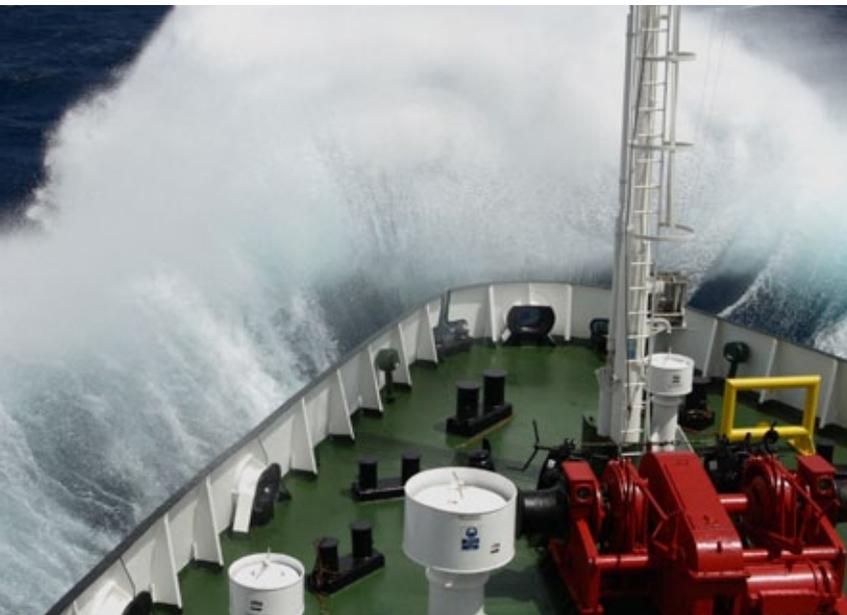
## Die Ozeanoberfläche ist wärmer geworden

Hat der Klimawandel den Ozean bereits dauerhaft erwärmt? Um dies zu beantworten, benötigen wir Langzeit-Messdaten aus dem Meer.

Frühere Studien nahmen den Zeitraum ab 1950 in den Fokus, weil die Messungen vorher oft lückenhaft und ungenau waren. Am Exzellenzcluster CliSAP konnten wir zusammen mit Kollegen aus Großbritannien und den USA jetzt erstmals Daten für das gesamte 20. Jahrhundert auswerten und zeigen: Die oberen Schichten des Ozeans sind wärmer geworden.

Hierzu haben wir eine historische Datensammlung aus der Meteorologie mit Messungen aus der Ozeanografie verglichen. Wir Meeresforscher untersuchen dabei die oberen 400 Meter des Ozeans, was technisch sehr aufwändig ist. Die Meteorologen interessieren sich dagegen für die Oberfläche, da das Meer dort direkt auf die Atmosphäre trifft. Weil sie dort leichter Messungen durchführen können, haben sie einen Vorteil: Sie verfügen über das 40-fache unserer Datenmenge.

Um die Daten sinnvoll zu deuten, mussten wir Lücken schließen und Fehler abschätzen. Als 1872 eine Expedition



mit dem britischen Segler Challenger startete, um Meeresproben zu nehmen, war dies noch eine große Ausnahme. Selbst bis 1950 wurde noch nicht flächendeckend gemessen und so streuen die Punkte auf den Temperaturkurven stark. Zudem mussten wir Verzerrungen berücksichtigen, die durch Messfehler entstanden sind. Vor dem Zweiten Weltkrieg wurden Wasserproben zum Beispiel mit Eimern geschöpft und an Deck geholt. In den folgenden Jahren wurde dann die Temperatur von Kühlwasser in den Maschinenräumen der Schiffe gemessen. Solche Wechsel in den Messmethoden erzeugen häufig Sprünge in den Temperaturreihen. So gibt es viele Fehlerquellen, die wir mit einem Rechenmodell korrigiert haben. Indem wir die historischen Datensammlungen verglichen haben, konnten wir statistische Verfahren anwenden und so die Datenqualität verbessern.

Trotz unterschiedlicher Methoden und Datenmengen liefern beide Zeitreihen das gleiche Klimasignal: Die Ozeanoberfläche hat sich seit 1900 erwärmt. Einzelne Gebiete haben sich zwar abgekühlt. Insgesamt jedoch ist die 20 Meter tief reichende Schicht um etwa 0,8 Grad Celsius wärmer geworden. Der Nordatlantik sticht besonders hervor: Seine obere Schicht hat sich sogar um fast 1,4 Grad erwärmt. Betrachten wir die Tiefen bis 400 Meter, ist die

Temperatur um durchschnittlich 0,5 Grad gestiegen. Das scheint zunächst nicht viel. Doch da dies ein riesiges Volumen betrifft, hat sich die Wärmeenergie im Atlantik insgesamt stark erhöht.

Diese Erwärmung spiegelt wider, dass sich nicht nur der Ozean, sondern das gesamte Klimasystem verändert hat. Als Temperaturpuffer der Erde vollbringen die Meere nämlich eine enorme Leistung für das Klima. Dabei gleicht der Ozean zum Beispiel die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen der Atmosphäre aus. Wie in einer Wärmflasche speichert das Wasser die Wärme und gibt sie nur allmählich wieder ab. Damit dämpft das Meer auch den Treibhauseffekt.

---

Dr. Viktor Gouretski arbeitet als Ozeanograph am Datenzentrum des Exzellenzclusters CliSAP.





## Wann Bürger Klimakampagnen von Energieerzeugern glauben

Durch den Druck der Öffentlichkeit ist der Klimaschutz auch für die Industrie ein wichtiges Thema geworden. Deshalb versuchen viele Unternehmen ein umweltfreundliches Image aufzubauen.

Dabei setzen sie auf bunte Kampagnen: In Werbespots, Anzeigen und im Internet berichten sie zum Beispiel, dass sie in energiesparende Technologien investieren oder Ökostrom nutzen, um klimaschädliches CO<sub>2</sub> zu reduzieren. Doch sind solche Kampagnen glaubwürdig?

Nicht unbedingt: Gerade Unternehmen, die besonders viel CO<sub>2</sub> in die Luft blasen, wird häufig Etikettenschwindel – sogenanntes Greenwashing – vorgeworfen, wenn sie Klimaschutz-Botschaften verbreiten. Das gilt vor allem für Energiekonzerne, die weiterhin die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Wie Bürger Klimakampagnen von Energieunternehmen wahrnehmen, haben wir am Exzellenzcluster CliSAP in einem Experiment mit mehr als 600 Verbrauchern untersucht.

Wir sind davon ausgegangen, dass eine Kampagne eher als glaubwürdig eingeschätzt wird, wenn ein Unter-

nehmen nicht nur Belege für sein Engagement im Klimaschutz liefert, sondern sich auch zu seinen Schwächen bekennt. Ein Energiekonzern sollte in seiner Klimaschutz-Kampagne also nicht verschweigen, wenn es veraltete Kohlekraftwerke betreibt. Diese Mischung aus positiven und negativen Argumenten nennen wir zweiseitige Botschaften. Aus der Werbeforschung wissen wir: Mit dieser Offenheit rechnen Zuschauer nicht. Deshalb deuten sie diese als Beleg für ehrliche Motive.

Wie zweiseitige Botschaften die Glaubwürdigkeit von Klimakampagnen beeinflussen, haben wir in unserem Experiment getestet. Dabei haben Verbraucher die Kampagne eines großen fiktiven Energiekonzerns, der "Deutschen Energie AG", bewertet. Ein Teil der Probanden hat eine einseitig positive Anzeige gelesen, der andere eine zweiseitige Botschaft mit zusätzlichen negativen Argumenten. Beide Anzeigen waren gleich gestaltet.

Die Ergebnisse bestätigen unsere Erwartungen nur teilweise: Menschen, die sich wenig Sorgen um das Klima machen, nehmen zweiseitige Botschaften positiv auf. Damit hatten wir gerechnet. Geht das Unternehmen nicht nur auf sein Engagement, sondern auch auf seine Schwächen beim Klimaschutz ein, schätzt diese Gruppe die Botschaft als glaubwürdiger ein und stimmt der Kampagnen-

botschaft eher zu: Ja, das Unternehmen engagiert sich für den Klimaschutz.

Skeptischer sind Menschen, die sich große Sorgen um das Klima machen. Wir waren davon ausgegangen, dass die positive Wirkung der zweiseitigen Botschaft bei ihnen zwar geringer ausfällt, aber trotzdem existiert. Tatsächlich aber halten diese Menschen zweiseitige Botschaften für weniger glaubwürdig. Geständnisse verringern hier also die wahrgenommene Glaubwürdigkeit und die Befragten stimmen der Botschaft weniger zu. Möglicherweise interpretieren besorgte Menschen Bekenntnisse als Kommunikationstrick und nicht als Beleg für Aufrichtigkeit. Ob dies bestätigt werden kann und welche Faktoren bei der Wirkung solcher Kampagnen noch eine Rolle spielen, muss noch erforscht werden.

---

**Dr. Inga Schlichting** arbeitete als Kommunikationswissenschaftlerin am Exzellenzcluster CIISAP.

## **Bildnachweis**

© photocase/foodmat (Titel), © dpa picture alliance (Rückseite l. und S. 16/17),  
© iStockphoto/Coffee999 (Rückseite r. und S. 11), © iStockphoto/Stanislav  
Moroz (Titel innen, S. 1), © Hamburger Hochbahn (S. 5), © Fotolia/@nt  
(S. 8), © iStockphoto/tiolooco (S. 10), © Thinkstock/Volker Göllner (S. 14 o.),  
© Karsten Smid/Greenpeace (S. 14 u.), © Christoph Eckelt/Greenpeace  
Energy (S. 21 o.), © UHH/David Ausserhofer (S. 21 u.), © Mathias Kröning  
(S. 25 o.), © Markus Klotmann (S. 25 u.), © dpa picture alliance (S. 26/27),  
© Reuters/Goran Tomasevic (S. 31), © dpa picture alliance (S. 32/33),  
© NASA Goddard Space Flight Center (S. 38/39), © NASA Goddard Space  
Flight Center (S. 41), © iStockphoto/Pavliha (S. 44/45), © Thomas Wasilewski  
(S. 48 o.), © iStockphoto/kldy (S. 48 u.), © iStockphoto/dogfeeder (S. 51),  
© UHH/David Ausserhofer (S. 52)

## **Herausgeber**

Exzellenzcluster CliSAP, Universität Hamburg  
[www.clisap.de](http://www.clisap.de)

## **Redaktion**

Tiziana Hiller, Stephanie Janssen, Ute Kreis, Franziska Neigenfind,  
Julika Doerffer, Öffentlichkeitsarbeit Exzellenzcluster CliSAP

## **Gestaltung**

HAAGEN design, Hamburg

## **Auflage:** 3.000

Hamburg, 2014

mit freundlicher Unterstützung des Hamburger Abendblatts



## Zum Inhalt

Warum beeinflussen Sonnenflecken das regionale Wetter? Wie kommt der Klimawandel in die Köpfe? Warum ist die Sahara heute eine Wüste?

In einer Artikelserie des Hamburger Abendblatts beantworten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Exzellenzclusters CliSAP regelmäßig Fragen aus der Klimaforschung. In unserem vierten Lesebuch haben wir zehn spannende Artikel aus der Serie für Sie zusammengestellt.