



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

**CENTRUM**

FÜR ERDSYSTEMFORSCHUNG  
UND NACHHALTIGKEIT (CEN)



# KLIMASCHUTZ ALS NEBENEFFEKT

ZEHN KLIMAFORSCHER BERICHTEN



# KLIMASCHUTZ ALS NEBENEFFEKT

ZEHN KLIMAFORSCHER BERICHTEN

Ein Lesebuch der Hamburger Erdsystemforschung

## INHALT

- 4 WIND-ARCHIV
- 10 KLIMASCHUTZ
- 17 PERMAFROST
- 22 WOLKEN
- 28 SALZ DER MEERE
- 32 SOZIALKAPITAL
- 39 TROPENHOLZ
- 44 MONSUN
- 50 METEORITEN-EINSCHLAG
- 55 LANDWIRTSCHAFT

## NEUE KLIMAGESCHICHTEN AUS HAMBURG

Vom Klimasünder zum neuen Hoffnungsträger? Derzeit treibt China den Klimaschutz enorm voran – die Regierung will Kohleemissionen senken und die Solarenergie stärken. Doch wie schnell nimmt der Wandel zur klimafreundlichen Wirtschaft wirklich an Fahrt auf? Diese und andere Fragen rund um den Klimawandel untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN) und am Exzellenzcluster CLICCS der Universität Hamburg.

Erfahren Sie, wie sich Inseln gegen den steigenden Meeresspiegel wappnen, wie sich Landwirte auf den Klimawandel einstellen oder welche geologische Revolution durch den Einschlag eines Meteoriten ausgelöst wurde.

Einmal im Monat geben unsere Forscherinnen und Forscher im Hamburger Abendblatt Einblick in ihre Arbeit. Zehn dieser Beiträge haben wir auf den folgenden Seiten für Sie zusammengefasst.

Viel Spaß beim Schmökern!

## ZEITZEUGEN DES WINDES: WAS DER DÜNENSAND VERRÄT

Die Launen des Windes haben sie geformt: Höher als 30 Meter türmen sich Wanderdünen des Listlandes auf der Nordseeinsel Sylt. Sie erzählen die Geschichte ihrer eigenen Entstehung und verraten uns, wie stark der Wind im Laufe der Zeit über sie hinwegblies.

Ähnlich wie bei Baumringen lässt sich aus der inneren Schichtung von Dünen die Vergangenheit ablesen. Um dieses Klima-Archiv zu entschlüsseln, haben mein Team und ich am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit den Aufbau einer Wanderdüne im Norden der Insel untersucht.

Historische Luftbilder aus der Zeit von 1936 bis 2009 zeigen, wie der Wind die Düne jährlich immer weiter nach Osten schiebt. Je nach Windstärke kann die Dünenfront in einem Jahr mal nur drei Meter, in einem anderen dagegen sogar sieben Meter wandern. Doch wo hat die Düne die entscheidenden Informationen darüber gespeichert, wann der Wind stärker oder schwächer blies?

Wichtige Hinweise geben unsere Georadarmessungen. Mithilfe dieser Daten konnten wir die Düne im Querschnitt





darstellen – und sehen, wie der Wind die Sandkörner antrieb und Schicht für Schicht auftrug. Die Architektur der Düne ist sehr komplex und enthält viele Unregelmäßigkeiten. Trotzdem können wir ablesen, dass schwacher Wind nur die feinen Körner transportiert, während starker Wind eine Kaskade in Gang setzt und alle Körner bewegt. Ablagerungen mit vorwiegend kleinen Körnern weisen also auf schwachen Wind hin, während Schichten mit sehr vielen unterschiedlich großen Partikeln unter stürmischeren Verhältnissen abgelagert wurden. Erreicht der Kamm der Düne einen kritischen Winkel, geht der Sand auf der windabgewandten Seite als Lawine nieder. Diese Schichtung fällt nach Osten hin ab – das Ergebnis der meist von Westen wehenden Winde an der Nordseeküste.

Um herauszufinden, wie die unterschiedlich großen Sandpartikel in der Düne verteilt sind, sammelten wir fast 5000 Proben. Das war nur im Winter bei gefrorenem Boden möglich. Jetzt konnte der Wind unsere Proben nicht verfälschen, da die Schichten vorübergehend konserviert waren. Mit Spitzhacke und Spaten legten wir einen 245 Meter langen Graben in Wanderrichtung der Düne an und entnahmen am Boden des Grabens alle fünf Zentimeter je einen Fingerhut voll Sand.

Diese Proben brachten wir ins Labor, um mithilfe eines speziellen Laser-Messgerätes das Größenspektrum der enthaltenen Sandkörner zu bestimmen. Dabei wird der Laser-

strahl von unterschiedlich großen Partikeln verschieden stark abgelenkt. Das erzeugte Beugungsmuster gibt Aufschluss über die Korngrößenverteilung der jeweiligen Probe. Der Mittelwert der Größenverteilung lieferte uns ein Abbild der Windintensität zur Zeit der Ablagerung der Sandkörner.

Doch wie aussagekräftig sind unsere Ergebnisse? Um dies zu überprüfen, verglichen wir sie mit den Messungen einer nahe gelegenen Wetterstation, welche über Winddaten seit 1950 verfügt. Und siehe da: Die jährlichen Windintensitäten stimmen in beiden Datensätzen überein. Beide zeigen zum Beispiel für die 1960er Jahre einen prägnanten Anstieg der Windgeschwindigkeit. Auch der Beginn des 20. Jahrhunderts war laut unserer Rekonstruktion sehr stürmisch – genau wie in historischen Aufzeichnungen jener Zeit.

Unsere Methode funktioniert also sehr gut! Wo Messdaten fehlen, kann unser Dünenarchiv zuverlässige Informationen über den Wind der Vergangenheit liefern. Diese Informationen helfen, Klimarechenmodelle zu überprüfen und ermöglichen so eine verbesserte Vorhersage der zukünftigen Entwicklung des Wind- und Sturmklimas.

---

**Dr. Sebastian Lindhorst** ist Geologe am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg.

## KLIMASCHUTZ ALS NEBENEFFEKT

Spätestens seit dem Ausstieg der USA aus dem Pariser Klimaschutzabkommen gilt China als neuer Hoffnungsträger für den weltweiten Klimaschutz. Noch ist das Land der größte Produzent von Treibhausgasen weltweit. Inzwischen präsentiert es sich aber selbstbewusst in der Rolle des Klimaretters und feiert erste Erfolge. Doch wie effektiv sind die chinesischen Bemühungen wirklich?

China spielt eine entscheidende Rolle im Kampf gegen die globale Erwärmung. Eine konsequente Klimaschutzpolitik, im Idealfall ohne spürbare Nachteile für die Bevölkerung, könnte den Klimawandel abmildern. Chinas Potenzial als Klimaschützer ist unbestritten – und die Ziele der Regierung sind inzwischen ehrgeizig: Im Vergleich zu 2005 soll bis 2020 die Menge von Kohlendioxid-Emissionen um bis zu 65 Prozent reduziert werden. Der Anteil erneuerbarer Energien soll auf 15 Prozent steigen. Energie einzusparen, ist Teil der Planwirtschaft des Landes geworden und in einigen Provinzen wurde teilweise ein Emissionshandel eingeführt.





Doch wie weit ist Chinas Wandel zur klimafreundlichen Wirtschaft wirklich vorangeschritten? Das habe ich zusammen mit einer chinesischen Gastwissenschaftlerin hier am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit überprüft. Dafür haben wir zunächst alle aktuellen Forschungsergebnisse zum Thema analysiert und zusammengefasst. Gar nicht so einfach: Oft sind die Studien kaum vergleichbar, da sie ganz unterschiedlich an die Problemstellungen herangehen. Das Ergebnis ist die Mühen aber wert: Wir gewinnen ganz neue Einblicke und können große Entwicklungen besser erkennen.

Die Forschung zum Klimaschutz in China behandelt vor allem drei Bereiche: emissionsarme Städte, Technologien und Industrien sowie den Wandel des Energiesystems. Für alle drei Felder zeigt sich: China hat es noch nicht geschafft. Das Wachstum der Wirtschaft ist nach wie vor an steigende Treibhausgas-Emissionen gekoppelt. Für größere Erfolge wäre ein tiefgehender Wandel der Industrie nötig, in der jetzt noch die energieintensive Stahl- und Eisenindustrie die Emissionen in die Höhe treibt. Dazu müsste in der Energieversorgung auf Strom aus fossilen Brennstoffen wie Kohle verzichtet werden.

In unserer weiteren Forschung zeigt sich, dass China die Lücke nutzt, die der Rückzug der USA aus dem Pariser Klimaabkommen international hinterlassen hat, und sich





爱绿色上海!  
拒绝污染!

爱上海! 爱松江!  
国轩电池厂 滚出松江

爱绿色上海!  
拒绝污染!

als Macher präsentiert. Gleichzeitig wächst in China selbst der Druck: Die Abhängigkeit von Öl-Importen, die unsichere Energieversorgung und vor allem die starke Luftverschmutzung rufen immer mehr Widerstand in der Bevölkerung hervor. Diese Entwicklung wird von der Regierung aufmerksam registriert, denn Proteste könnten zu einer Bedrohung für sie werden. So möchte sie durch mehr Sicherheit in der Energieversorgung und die Einführung von erneuerbaren Energien diese Konflikte entschärfen. Das kommt also nebenbei auch dem Klima zugute.

Unsere Untersuchung zeigt: Klimaschutz lohnt sich für China, weil er sich auch auf andere nationale Interessen positiv auswirkt. In weiteren Untersuchungen versuchen wir jetzt herauszufinden, wie Klimaschutz quasi als Nebeneffekt nötiger Veränderungen auch in Deutschland möglich sein könnte. Wir haben bereits erste Ergebnisse aus einem Projekt in Hamburg-Lokstedt: Zusammen mit den Bürgerinnen und Bürgern haben wir nach Möglichkeiten gesucht, die Stadt lebenswerter und gleichzeitig klimafreundlicher zu machen.

---

**Anita Engels** ist Professorin für Soziologie an der Universität Hamburg und Co-Sprecherin des Exzellenzclusters für Klimaforschung CLICCS.

## **MOOSE REDUZIEREN METHAN- AUSSTOSS AUS FEUCHTGEBIETEN**

Kleine Seen und Tümpel umgeben von sattem Grün – es ist Sommer in der arktischen Tundra. Im Nordosten Sibiriens liegt die kleine Insel Samoylov, wo sich das Wasser über dem dauerhaft gefrorenen Permafrostboden staut. Jetzt gedeihen hier Gräser, Moose und kleine Sträucher. In dem Feuchtgebiet wird viel organischer Kohlenstoff umgesetzt, der in Form der klimawirksamen Gase Methan und Kohlendioxid in die Luft entweichen kann.

Dafür verantwortlich sind Mikroorganismen, die das organische Material zum Beispiel aus Pflanzenresten abbauen. Dabei produzieren sie Methan – ein Prozess, der im wasser gesättigten Boden ohne Sauerstoff abläuft. Sobald Sauerstoff im Boden vorhanden ist, bauen andere Bakterien das entstandene Methan zu Kohlendioxid ab. Entscheidend ist, dass mit der Umwandlung von Methan zu Kohlendioxid ein Klimagas mit einer deutlich günstigeren Treibhausgasbilanz entsteht: Eine Tonne Methan verursacht etwa den gleichen Treibhauseffekt wie rund 30 Tonnen Kohlendioxid.



Meine Kollegen und ich konnten zeigen, dass neben Mikroorganismen auch Pflanzen einen wesentlichen Einfluss auf die Bildung und Freisetzung von Methan haben. Je nachdem, welche Pflanzen vorhanden sind, wird unterschiedlich viel Methan gebildet, in Kohlendioxid umgewandelt und in die Atmosphäre geleitet. Mithilfe zahlreicher Messungen konnten wir zwei Bereiche in den flachen Teichen unterscheiden.

An den Rändern der Teiche haben wir deutlich höhere Methanflüsse gefunden als in der Mitte. Der Grund: An den Rändern wachsen Gräser und unter dem Wasserspiegel Moose. Weiter in der Mitte sind nur noch Moose zu finden. Diese Pflanzen regulieren die Bildung, den Abbau und die Freisetzung von Methan jeweils unterschiedlich.

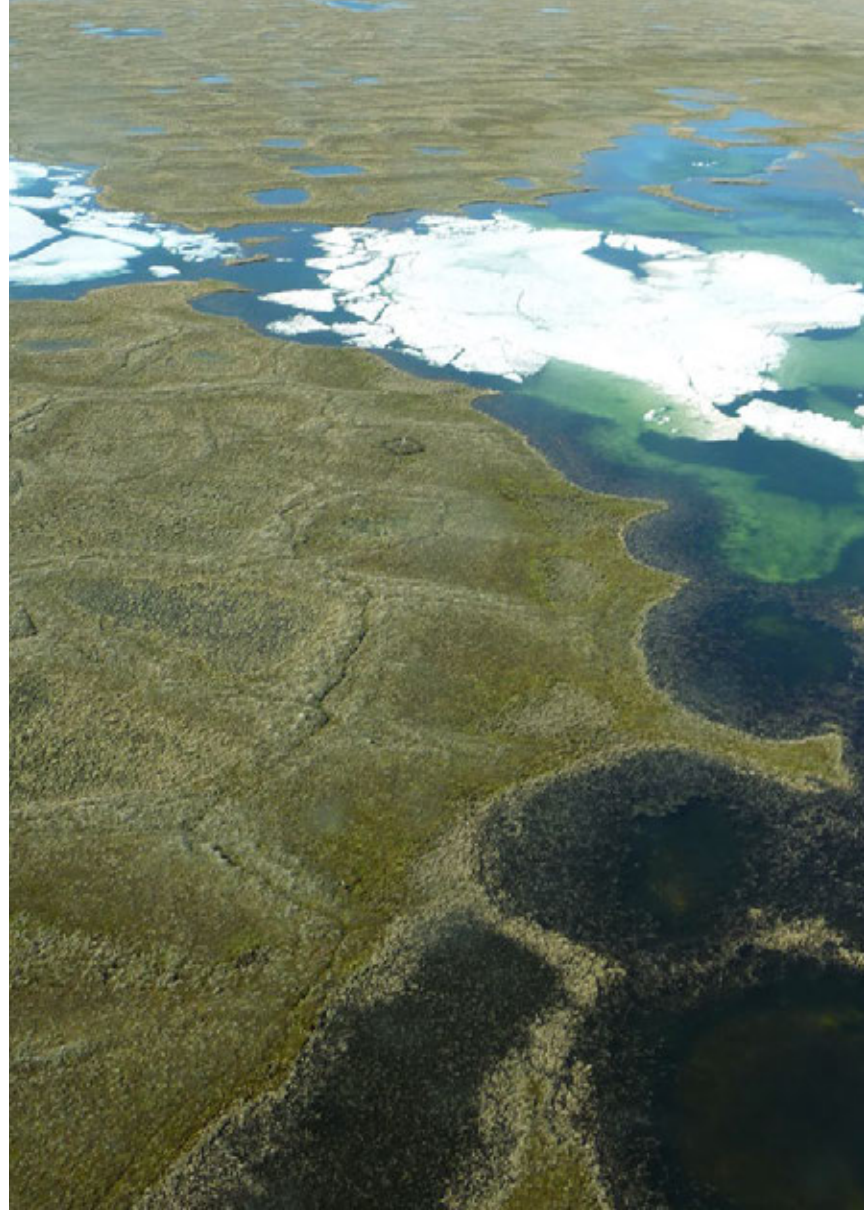
So produzieren die Moose unter dem Wasserspiegel Sauerstoff, den die Bakterien benötigen, um Methan in Kohlendioxid umzuwandeln. Dadurch werden bis zu 99 Prozent des Methans abgebaut. Die Gräser dagegen wirken wie Schornsteine, die das Methan aus dem Boden schnell direkt in die Atmosphäre leiten. Dabei wird das Methan durch das Gewebe der Gräser transportiert, welches die Wurzeln im wassergesättigten Boden mit Sauerstoff versorgt. Wo Gräser wachsen, kann nur sehr viel weniger Methan abgebaut werden, weil die Gräser das Gas an jener Zone vorbeischieben, in der die Moose zusammen mit den Bakterien aktiv sind.

Bisher galt der Wasserspiegel im Boden als Grenze zwischen den Bereichen, wo Stoffwechselprozesse mit beziehungsweise ohne Sauerstoff ablaufen. Dass Moose unter dem Wasserspiegel Sauerstoff produzieren, wurde bislang nicht berücksichtigt. Doch dieser Prozess ist wichtig, um die gesamte Methan-Bilanz zu berechnen.

Die Feuchtgebiete im Nordosten Sibiriens reagieren empfindlich auf Klimaänderungen. Wieviel Methan freigesetzt wird, hängt dabei von der Temperatur, dem Wasserstand und den Pflanzen ab. Was aber geschieht, wenn der Permafrost in der arktischen Tundra taut und damit Mikroorganismen verstärkt aktiv werden, ist noch unklar. Unsere Ergebnisse helfen jedoch dabei, genauere Vorhersagen zu entwickeln, wieviel Methan aus tauenden Permafrostböden freigesetzt wird. Dass verschiedene Pflanzenarten dabei eine Rolle spielen, muss künftig stärker berücksichtigt werden.

---

**Dr. Christian Knoblauch** arbeitet am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg und ist Mitglied am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit.



## WEISST DU, WIE VIEL WOLKEN GEHEN

Wolken stellen Klimaforscher vor ein Rätsel. Ob sie den Klimawandel verstärken oder abmildern ist noch nicht ausgemacht. Die Effekte sind schon ohne Klimawandel verwirrend.

Vor uns braut sich ein mächtiger Wirbelsturm zusammen. Die Chance, die Umgebung eines Hurrikans zu erkunden, lassen wir uns nicht entgehen. Ich prüfe ein weiteres Mal die Messgeräte, die Triebwerke unseres Forschungsflugzeugs HALO dröhnen ohne Unterbrechung. Vor der Karibikinsel Barbados wollen wir mehr über Wolken und Zirkulationen, so nennen die Meteorologen Kreisläufe von Luftströmungen, herausfinden.

Hohe Eiswolken, Zirren genannt, schirmen die Erde etwa gegen die Sonne ab und verhindern, dass sich die Erdoberfläche aufheizt. Niedrige Wolken halten die Wärme in der Nacht hingegen in Bodennähe. Um die Effekte von Wolken für Klimamodelle treffender als bisher abschätzen zu können, müssen wir genau wissen, wie viele Wolken am Himmel sind, wie groß sie sind, in welcher Höhe sie liegen und wie sie sich zusammensetzen.





Dazu wollen wir mit HALO möglichst über die oberste Wolkenschicht fliegen. Auf dem offenen Meer sind Wolken schwerer zu beobachten als über dem Festland, weil es hier kein Netz von Bodenstationen gibt, das fortwährend Daten liefert.

Wie Bodenstationen und Satelliten setzen wir an Bord von HALO ebenfalls Instrumente der Fernerkundung ein. Ein Wolkenradar misst Position und Form der Wolke. Es erkennt dabei große Wasserteilchen, aber keine Eiskristalle. Ein Mikrowellenradiometer liefert Daten aus dem Inneren der Wolke und teilt uns mit, wie Wasser und Eis in der Wolke verteilt sind. Zusätzlich sendet ein Lidar Lichtwellen aus und misst das Feuchteprofil, welches um die Wolke herum besteht. Das Lidar erkennt auch Eisflächen, ist für alles darunter aber blind wie ein Maulwurf. Der Mix der Messungen macht es. Erst durch die Kombination können wir die Wolke als Ganzes erfassen.

Meine Aufgabe ist es, die Messgeräte vorzubereiten und während des Fluges zu kontrollieren. Jede Sekunde führen die Geräte eine Messung durch. Da Wolken im Schnitt nur ein bis drei Kilometer breit sind und wir mit 800 Kilometer pro Stunde über sie hinwegfegen, bleiben pro Wolke nicht mehr als ein paar Schnappschüsse, die am Ende aber ein schönes Wolkenprofil unseres Fluges ergeben. Während des acht- bis zehnstündigen Fluges starten wir außerdem bis zu 50 Dropsonden

durch den Abwurfschaft. Diese nur wenige hundert Gramm schweren Sonden driften dann an einem Mini-Fallschirm langsam gen Meeresspiegel und senden weitere Daten zu Druck, Temperatur und Feuchtigkeit. Zurück in Hamburg wertere ich hunderte von Wolken-Profilen aus und vergleiche sie mit Satellitendaten und Wettermodellen. Diese Modelle beruhen auf physikalischen Annahmen und errechnen Wolkenmuster per Computer.

Unsere HALO-Daten zeigen, dass die Wolken im Modell zu hoch liegen. Das Modell hat zudem mehr Wolken errechnet, als wir sie vor Ort tatsächlich vorgefunden haben. Diese Unterschiede liefern wertvolle Hinweise, um Hurrikan- und Wettervorhersagen stetig zu verbessern. Gleichzeitig liefern die Daten wichtige Bausteine, um Klimaszenarien künftig noch genauer zu machen.

---

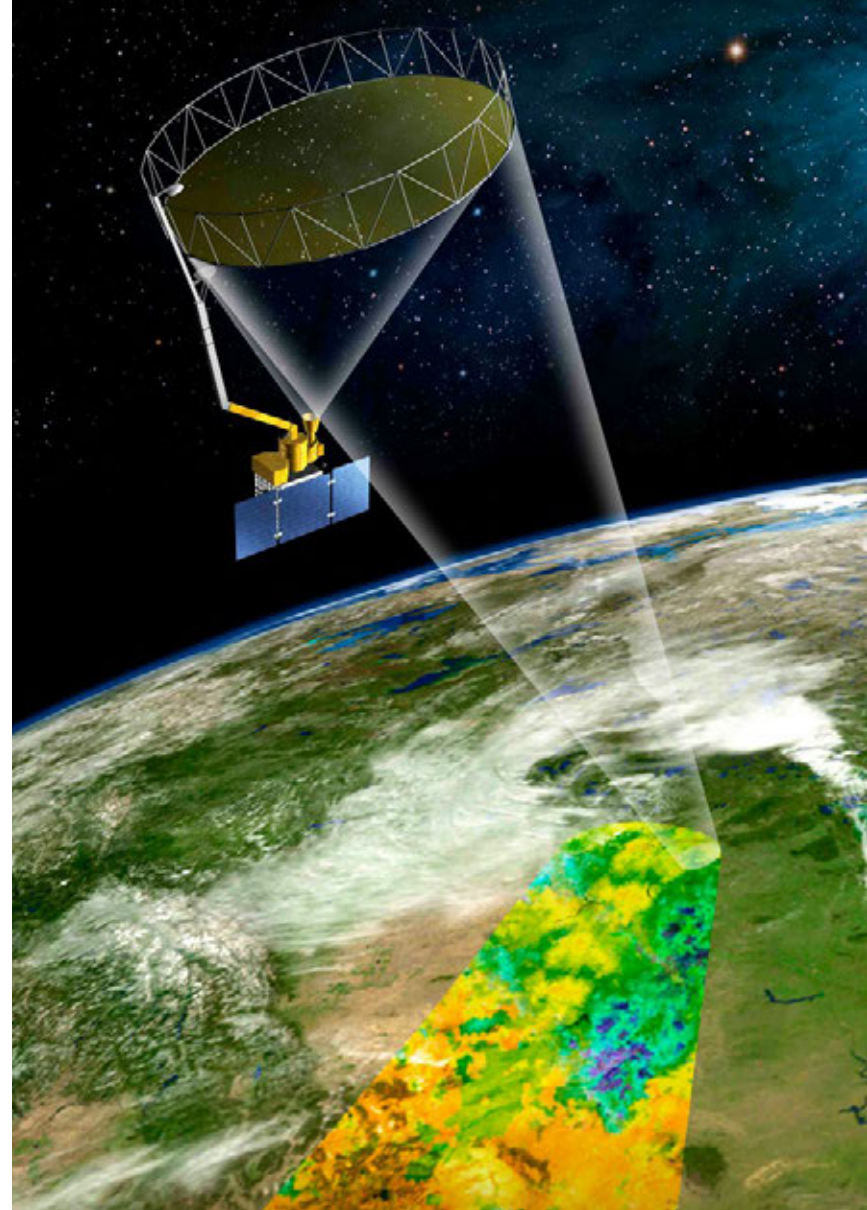
**Dr. Heike Konow** forscht am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg und ist Mitglied des Centrums für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit.

## SALZGEHALT DER OZEANE ERKLÄRT KLIMAPHÄNOMENE

Schon kleine Änderungen im Salzgehalt der Ozeane können Folgen für das Klima haben. Doch diese Kenngröße der Weltmeere ist schwierig zu messen. Nur der Blick aus dem All kann die gesamte Erde erfassen.

Deswegen erheben Satelliten für die Wissenschaft viele wertvolle Daten. Für mich als Meeresforscherin sind besonders die Daten zum Salzgehalt der Weltmeere interessant. Denn der bestimmt zusammen mit der Temperatur die Dichte des Wassers, die dafür verantwortlich ist, wie sich die globalen Meeresströmungen verändern. Außerdem ist der Salzgehalt von Ort zu Ort unterschiedlich und zeigt uns zum Beispiel, in welchen Meeresregionen Wasser verdunstet oder wo es regnet. Wir können mit den globalen Daten also verfolgen, wie sich der Wasserkreislauf über dem Ozean etwa durch die Erderwärmung verändert.

Erst seit 2010 lässt sich dieser wichtige Wert aus Satellitenmessungen ableiten. Der Satellit erfasst die natürliche, elektromagnetische Strahlung, die von jedem Körper ausgeht. Die Strahlung des Ozeans ist auch von seinem Salzgehalt





abhängig. Ein Zusammenhang, der im Mikrowellenbereich der elektromagnetischen Strahlung besonders deutlich ist. Damit lässt sich aus den Satellitenmessungen der Salzgehalt ermitteln und wir erhalten ein flächendeckendes Bild der Salzgehaltsverteilung an der Meeresoberfläche. Der Vorteil von Satelliten ist dabei, dass sie in sehr kurzer Zeit die kompletten Weltmeere abtasten können – es dauert nur drei Tage.

Diese Messmethode ist noch recht neu, sie muss geprüft und verbessert werden. Deshalb habe ich in meiner Dissertation am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit untersucht, inwieweit die Satellitendaten mit Werten von Bojen und Forschungsschiffen übereinstimmen und wo mögliche Fehlerquellen liegen. Um sie zu identifizieren, habe ich eine kalte und eine warme Meeresregion genauer untersucht: das europäische Nordmeer und den Indischen Ozean. Denn welche Temperatur das Wasser an der Oberfläche hat, beeinflusst die Genauigkeit der Daten – je kälter, desto schwieriger ist es, den Salzgehalt aus den Messungen zu bestimmen. Deswegen sind besonders Daten aus den Polargebieten fehlerhaft.

Das zeigt auch meine Untersuchung: Bei den Salzgehaltsfeldern des Indischen Ozeans können wir viele spannende Beobachtungen machen. Sogar schnelle Klimaphänomene wie die Madden-Julian-Oszillation, die in 30 bis 90 Tagen um

den Globus wandert, können wir erkennen. Im europäischen Nordmeer dagegen reicht es gerade mal dafür, den Zyklus der Jahreszeiten zu erkennen, etwa das Schmelzen des Meereises im Sommer und das Wachsen im Winter.

Neben geringen Temperaturen kann aber auch eine raue See die Messwerte verfälschen. Zusätzlich sind die Daten aus einem relativ großen Bereich entlang der Kontinente nicht brauchbar. Die Strahlung des Landes stört dort die Messwerte aus dem Ozean. Aber auch Menschen können zwischen Meeresoberfläche und Satellit funken, wenn zum Beispiel ein Schiff illegal auf der für die Forschung reservierten Frequenz sendet.

Mit meinen Kollegen widme ich mich in Zukunft dem Indischen Ozean, der im Moment noch eine der am wenigsten erforschten Meeresregionen ist. Die Salzgehaltsdaten helfen, dortige Klimaveränderungen und extreme Wetterphänomene näher zu untersuchen. Die daraus entstehenden Ergebnisse können dann die Vorhersagesysteme für Niederschlag oder Extremwetterereignisse wie Dürren in Ostafrika deutlich verbessern.

---

**Dr. Julia Köhler** arbeitet als Ozeanographin am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg.

## WIE SICH INSELN GEGEN DEN STEIGENDEN MEERESSPIEGEL WAPPEN

Durch den Klimawandel wird der Meeresspiegel vielerorts ansteigen. Daran kann sich der Mensch anpassen, indem er Schutzmauern baut, umsiedelt oder die Deiche erhöht. Doch was den Menschen an sich anpassungs- und widerstandsfähig macht, ist nicht durch Technik oder Geld zu realisieren.

Es kommt bei Extremereignissen und Katastrophen auch auf die Fähigkeit zur Selbsthilfe, den nachbarschaftlichen Zusammenhalt und die Bereitschaft an, gemeinsam aktiv zu werden. In der Wissenschaft sprechen wir von Sozialkapital. Doch welche dieser Faktoren des Sozialkapitals stärken die Anpassungsfähigkeit an die Folgen des Klimawandels? Dieser Frage gehe ich als Geograf an der Universität Hamburg nach.

Dazu habe ich die Isles of Scilly untersucht, eine Inselgruppe vor der Südwestspitze Englands. Dort sind die Menschen seit jeher Stürmen und Überschwemmungen ausgesetzt. Die Gruppe besteht aus fünf Inseln mit rund 2.000 Einwohnern und einer Vielzahl kleiner, unbewohnter Inseln. Noch vor 3.000 Jahren lag der Meeresspiegel niedriger und





viele der Inseln waren miteinander verbunden. Seit etwa 1.000 Jahren ist der Meeresspiegel relativ stabil. Doch nun kommt der Klimawandel und mit ihm steigt der Wasserstand an den Küsten Südwestenglands – im letzten Jahrhundert um 20 Zentimeter und bis 2100 sind durchschnittlich weitere 50 Zentimeter prognostiziert.

Für meine Analyse habe ich an etwa 900 Inselhaushalte Fragebögen verteilt und ausführliche Interviews mit Verwaltungspersonal, lokalen Organisationen und Privatpersonen geführt. Meine Ergebnisse zeigen: Einige Faktoren des Sozialkapitals sind auf allen Inseln stark ausgeprägt. Vor allem das gegenseitige Vertrauen und die große Hilfsbereitschaft bei Stürmen oder Überschwemmungen. Was die Anpassungsfähigkeit betrifft, gibt es allerdings große Unterschiede. Vor allem die Bereitschaft zum gemeinschaftlichen und eigenverantwortlichen Handeln unterscheidet sich prägnant.

Es zeigte sich: Auf den drei Inseln, die am isoliertesten von der Hauptinsel sind, ist aktives Handeln fester Bestandteil des Insellebens. Dort nehmen zwischen 64 und 83 Prozent der Bewohner Dinge wie Küstenschutz oder die Instandhaltung öffentlicher Einrichtungen selber in die Hand. Unabhängigkeit und Gemeinschaft prägen das dortige Leben. Der Einfluss der lokalen Inselverwaltung tritt dagegen in den Hintergrund.



Folglich ist ein hohes Sozialkapital nicht unbedingt damit gleichzusetzen, dass die Inselbevölkerung einem steigenden Meeresspiegel gegenüber gewappnet ist. Vielmehr müssen die entscheidenden Faktoren ausgeprägt sein. So ist meiner Analyse zufolge eine Insel besonders gut vorbereitet, wenn die dort lebenden Menschen ihre Erfahrung, Ressourcen und Fertigkeiten einbringen und wenn lokale und selbstverwaltete Organisationsstrukturen aufgebaut wurden. Dazu braucht es Individuen und lokale Organisationen, die die Inselgemeinschaft und deren Sozialkapital mobilisieren – hin zu gemeinschaftlichem und eigenständigem Handeln.

Letztendlich sind es diese Menschen, die die Inselgemeinschaft befähigen, sich zukünftig an einen steigenden Meeresspiegel und die Folgen des Klimawandels anzupassen.

---

**Dr. Jan Petzold** hat seine Doktorarbeit am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit geschrieben und arbeitet jetzt am Exzellenzcluster für Klimaforschung CLICCS.

## WARUM DIE BONUSREGEL FÜR DEN REGENWALD SO GEFÄHRLICH IST

Das Pariser Klimaabkommen der Vereinten Nationen gilt weltweit als Erfolg. Eine Neuerung könnte allerdings unbeabsichtigte Folgen haben.

Bisher wurden technisch entwickelte und weniger entwickelte Länder in so genannte Annex-1- und Nicht-Annex-1-Staaten eingeteilt. Diese Einteilung soll nun aufgehoben werden. Am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit haben wir untersucht, was dies für den tropischen Regenwald bedeuten könnte.

Der Regenwald ist nicht nur die grüne Lunge der Erde. Er speichert auch eine große Menge Kohlenstoff (C) in seinen Stämmen, Ästen und Blättern. Wenn Bäume gefällt werden, ist die Speicherung gefährdet. Verrottet das Holz oder wird es verbrannt, gelangt der Kohlenstoff als klimaschädliches CO<sub>2</sub> in die Luft. Zurzeit gehen bereits ein Fünftel aller Treibhausgasemissionen weltweit auf Entwaldung zurück.

Wird Holz dagegen langfristig in einem Möbel, Fensterahmen oder Dachbalken genutzt, bleibt das C vorerst im Holz gespeichert – ohne negativen Effekt für das Klima. Dies ist

in nachhaltig regulierten europäischen Wirtschaftswäldern der Fall, auch weil die Sägewerke effizient arbeiten und sogar Holzabfälle zu Produkten weiterverarbeitet werden. Ersetzen Fensterrahmen aus Holz dann noch energieintensive Produkte wie Aluminium-Rahmen, ist die C-Bilanz sogar positiv. Paradoxerweise bedeutet das, den Baum zu fällen, ist besser für das Klima, als ihn stehen zu lassen.

Deshalb wurde 2009 eine Bonusregelung beschlossen, allerdings nur für die technisierten Annex-1-Länder. Geerntetes Holz darf in Form von Holzprodukten abgeschrieben werden. Der neue Pariser Klimavertrag würde diese Bonusregel ab 2020 auch auf weniger entwickelte Länder mit großen Regenwaldflächen ausdehnen. Ist das sinnvoll?

Indonesien etwa plant, im nächsten Jahrzehnt 20 Prozent seines Tropenwaldes für landwirtschaftliche Nutzung zu roden. Nach dem alten Klimavertrag würde dies dem Land in vollem Umfang als schädliche Emissionen angerechnet und damit teuer werden. Ein Anreiz für den Staat, über Alternativen nachzudenken.

Greift nun die neue Regelung, kann Indonesien für sich reklamieren, aus Tropenholz ebenfalls langlebige Holzprodukte zu produzieren. Dies wird ja auch zum Teil tatsächlich der Fall sein und wäre somit nur fair. Deshalb haben wir die Holzernte in Tropengebieten wissenschaftlich unter die Lupe





genommen. In Szenarien berechnen wir die Effizienz lokaler Formen der Ernte, der Produktionswege und der Holznutzung.

Die Ergebnisse zeigen: Schon bei der Ernte entstehen hohe Verluste. Von 100 Prozent abgeholzten Pflanzen verlassen nur 15 bis 50 Prozent den Wald. Der Rest verrottet an Ort und Stelle, Kohlendioxid wird frei. Im Sägewerk werden von der geringen Ausbeute wiederum nur rund 30 Prozent verwertet. Alles Übrige wird in der Regel verbrannt.

Fazit: Die Emissionsbilanz vieler Regenwaldstaaten durch Abholzung ist derzeit verheerend. Auch eine effizientere Ernte würde kaum helfen. Anders als der europäische Wirtschaftswald mit seinen Monokulturen ist der Tropenwald ein Mix aus nutzbaren und nicht-nutzbaren Bäumen, durchdrungen von Unterholz. Unmengen von nicht verwertbaren Pflanzen würden flächendeckend mit gerodet.

Klimaneutral ist die Nutzung von Tropenholz also nicht zu haben. Gleichzeitig geht es um mehr als Emissionen. Die Erde könnte weite Teile eines unberührten Ökosystems verlieren, ein nicht zu reparierender Schaden.

---

**Michael Köhl** ist Experte für Tropenwälder und Professor für Forstwirtschaft am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit.

## KORALLENATOLLE ZEIGEN GEBURTSSTUNDE DES INDISCHEN MONSUNS

Malediven – die meisten denken an helle Sandstrände, kristallklares Wasser und Palmen. Doch die wenigsten wissen, dass die flachen Koralleninseln nur die Spitzen eines 3.000 Meter in die Tiefe reichenden Massivs aus Kalksedimenten sind. In diesen Schichten liegen viele Informationen über die Erdentstehung verborgen, die bisher kaum entschlüsselt sind.

Zusammen mit meinen Kolleginnen und Kollegen vom Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg habe ich dieses 50 Millionen Jahre alte Archiv untersucht und ausgelesen. Vor allem wollten wir herausfinden, wie sich die Höhe des Meeresspiegels im Indischen Ozean in der Vergangenheit veränderte, um daraus Rückschlüsse auf heutige Meeresspiegelschwankungen zu ziehen.

Im Rahmen unserer Untersuchungen haben wir mehrfach Expeditionen mit Forschungsschiffen zu den Malediven durchgeführt. Mit Bohrungen, Echolot und seismischen Messgeräten haben wir die geologischen Strukturen unter den Atollen bis in mehrere tausend Meter Tiefe erkundet. In





den Bohrkernen und seismischen Aufzeichnungen konnten wir anhand der Schichtung relativ klar erkennen, wie sich Klima und Meeresspiegel verändert haben, und wie stark oder schwach die Meeresströmungen waren.

Plötzlich machten wir jedoch eine erstaunliche Entdeckung: In den Schichten, die vor 12,9 Millionen Jahren entstanden sind, konnten wir ungewöhnliche Ablagerungen erkennen. Bei der Analyse stellte sich heraus, dass es sich hier um Driftablagerungen handelte, die ausschließlich bei starken Strömungen im Ozean entstehen. Die Winde und damit auch die Meeresströmungen hatten also zu diesem Zeitpunkt abrupt und massiv zugenommen. In dem damals noch flachen Meer trugen die Strömungen an einigen Stellen Sedimente ab und bildeten damit an anderen Stellen die charakteristischen Driftablagerungen. Was zeigten uns diese ungewöhnlichen Strukturen? Was zuerst nur eine Vermutung war, bestätigte sich durch weitere Untersuchungen: Wir hatten die Geburtsstunde des Indischen Monsunsystems entdeckt!

Doch wie kam es zu den starken Winden und dem plötzlichen Einsetzen des Monsuns? Ein wichtiger Faktor war der Himalaya, der zu dieser Zeit entstanden ist. Die Erdkruste hob sich und faltete sich auf. Erst dadurch änderten sich die Luftströmungen in der Atmosphäre so, dass sich das für den Monsun verantwortliche Windfeld aufbauen konnte. Doch als





alleinige Erklärung reicht das nicht aus, dafür war die Zunahme des Windes zu plötzlich. Vielmehr identifizierten wir eine ganze Serie von Faktoren: So änderte sich das globale Klima zu dieser Zeit und es entstanden große Temperaturunterschiede zwischen den Polen und dem Äquator. Gleichzeitig schloss sich ein bis dahin bestehender Seeweg zwischen Indien und dem eurasischen Kontinent. Aus Ablagerungen von Wüstenstaub in den Bohrkernen konnten wir erkennen, dass dadurch das Klima über dem asiatischen Festland sehr trocken wurde und den Monsun weiter verstärkte.

Die weitere Analyse unserer Proben und Daten soll nun Aufschluss über die langfristige Entwicklung des Indischen Monsuns bringen. Denn vor allem der Monsunregen hat einen großen Einfluss auf Mensch und Natur. So hängt die Landwirtschaft in vielen Ländern entscheidend davon ab, dass der Regen weder zu stark noch zu schwach ausfällt. Erst wenn wir das System richtig verstehen, können auch solche kurzfristigen Änderungen genauer prognostiziert werden.

---

**Prof. Christian Betzler** ist Geologe am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit und wissenschaftlicher Leiter der Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe.

## WENN GESTEIN WIE WASSER FLIESST

Er war es! Die Experten sind sich einig. Der Meteorit, der vor 65 Millionen Jahren auf die Erde schlug, hat die Dinosaurier ausgerottet. Er hinterließ einen gigantischen Einschlagskrater vor der mexikanischen Halbinsel Yucatan, der den aztekischen Namen Chicxulub, gesprochen Tschick-Schulub, trägt.

Während sich zunächst der Ozean massiv aufheizte, wurde die Sonne durch den Gesteinsstaub für Jahre verdunkelt und sorgte für langanhaltende Kälte. Drei Viertel aller Tierarten weltweit sind durch diese Klimaveränderungen ausgestorben.

Doch solch ein Einschlag hat nicht nur Einfluss auf Klima und Lebewesen, er ist auch eine geologische Revolution. Je nach Größe und Zusammensetzung des Geschosses, auch Projektil genannt, bohrt es sich innerhalb von ein bis zwei Sekunden bis zu 15 Kilometer tief in die Erdkruste. Der Meteorit selbst verdampft dabei meist komplett. Der Einschlag erzeugt eine Schockwelle im Gestein, die den Chicxulub-Krater um weitere 15 Kilometer in die Tiefe wachsen lässt. Die Kraterwände sind dabei zunächst steil, fallen aber sofort in sich





zusammen. Dadurch wird der Trichter flacher und dehnt sich auf bis zu 200 Kilometer im Durchmesser aus. Durch Computersimulationen wissen wir, dass der Krater nach nur zehn Minuten fertig ausgeformt war.

Als Geologe am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit interessiert mich, wie diese hochdynamischen Verformungen innerhalb so kurzer Zeit entstehen können. Der Meteorit schlägt mit rund 20 Kilometern pro Sekunde ein. Das sind kosmische Geschwindigkeiten, die Hitze und ungeheuren Druck im Gestein der Erdkruste erzeugen. Eine solche Situation ist in keinem Labor nachstellbar. Daher können wir auch nur vermuten, welche physikalischen Prozesse in diesen Sekunden ablaufen.

Viele Forscher nehmen an, dass das Gestein unter den extremen Bedingungen nicht nur zertrümmert, verdichtet und verschoben wird, sondern sich sogar kurzzeitig wie eine Flüssigkeit verhält. Anders lässt sich zum Beispiel der flache Boden bei Kratern dieser Größe nicht erklären. Aber einen Beweis gab es bislang nicht.

Jetzt konnten wir einen wichtigen Teil zur Klärung beitragen: An Proben aus vergleichbaren Kratern in Kanada und Südafrika haben wir erstmals Strukturen identifiziert, die Hinweise auf das Verhalten während der Kraterbildung geben. Bis hin zum mikroskopischen Maßstab konnten wir in Lücken

zwischen einzelnen Kristallen erstarrte Schmelze finden, ein sicheres Zeichen, dass das Material einst fließfähig war.

Ganz praktisch hilft unsere Forschung auch bei der Suche nach Rohstoffen. Große Einschlagskrater sind bekannt für ihre wertvollen Vorkommen von Kupfer, Nickel oder Platin-Mineralen. Diese Metalle sind in der Erdkruste normalerweise nur in Sandkorngröße zu finden und damit für einen industriellen Abbau nicht interessant. Unter Meteoriteneinwirkung dagegen schmelzen die Körnchen zusammen und können sich zu riesigen Lagerstätten formieren. Zu verstehen, wie die ersten Sekunden und Minuten nach einem Einschlag genau ablaufen, gibt uns Hinweise, wo die Metalle zu finden sind.

Kürzlich wurde eine aufwändige wissenschaftliche Bohrung in den Chicxulub – bis in eine Tiefe von 1300 Metern – abgeschlossen. Die Bohrkerne wurden nach Bremen überführt, wo sich eine von weltweit drei Lagerstätten für solche Proben befindet. Mit meinem Team aus 30 internationalen Forschern untersuche ich die Bohrkerne, um weitere Rätsel um Meteoritenkrater zu lösen.

---

**Prof. Ulrich Riller** ist Strukturgeologe und Experte für extraterrestrische Einschläge an der Universität Hamburg.

## STRATEGIE-MIX MILDERT KLIMAFOLGEN AUF EU-ÄCKERN

Europas Landwirte reagieren längst auf den Klimawandel: Auf deutschen Äckern wachsen wärme-liebende Pflanzen wie Soja und Mais, die zuvor vorwiegend weiter südlich gediehen. In England floriert der Weinanbau, während Weingüter in Frankreich und Spanien wegen Hitze und Trockenheit aufgeben müssen.

Teilweise können die Bauern die Veränderungen von Temperatur und Niederschlag kompensieren. Einige Gebiete in Südeuropa jedoch müssen mit deutlichen Ernteeinbußen rechnen. Wie geht die Entwicklung weiter und was können einzelne Betriebe tun?

Um dies herauszufinden, habe ich berechnet, wie sich der Klimawandel auf die Erträge der Landwirte in der Europäischen Union (EU) bis zum Jahr 2100 auswirkt und geprüft, wie sie sich anpassen können. Hierfür analysierte ich einen umfangreichen Datensatz der EU-Kommission: Rund 80.000 landwirtschaftliche Betriebe aus allen Mitgliedstaaten wurden 20 Jahre lang befragt. Dabei gaben sie jedes Jahr Auskunft



zu mehr als 1000 Faktoren – zum Beispiel was und wieviel sie produzieren, welche Flächen sie bewässern, ob die Landwirte Felder pachten oder Eigentümer sind. Dabei wurde auch ihr Alter erfasst und wie sie ihre Betriebe führen, denn diese Faktoren haben Einfluss darauf, wie die Landwirte auf die Veränderungen reagieren.

Zunächst ermittelte ich mit Hilfe eines Klimarechenmodells, wie sich Klima und Wetter in der Vergangenheit ausgewirkt haben. Dafür kombinierte ich den EU-Datensatz mit Boden- und Wetterdaten der verschiedenen Regionen in den letzten Jahrzehnten. Daraus konnte ich ableiten, wie sich der Klimawandel künftig auf die Landwirtschaft auswirkt. Ich simulierte verschiedene mögliche Klimaentwicklungen und errechnete die Folgen für die Agrarproduktion.

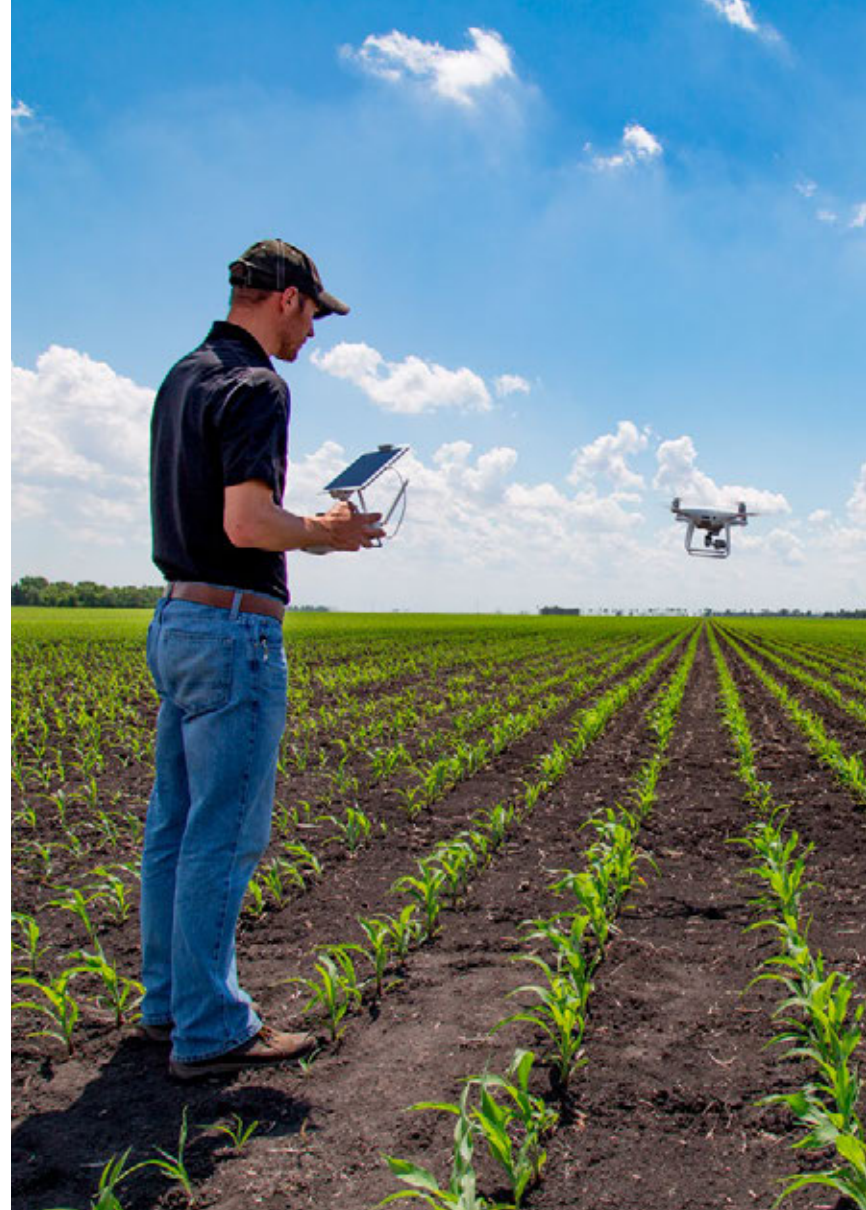
Meine Ergebnisse zeigen, dass eine schnelle Anpassung schwierig ist. Denn binnen kurzer Zeit können die Landwirte kaum auf widerstandsfähigere Feldfrüchte umsteigen. Falls der Ausstoß an Treibhausgasen nicht deutlich gesenkt wird, könnte die Getreideproduktion EU-weit um knapp 20 Prozent sinken. Während Norddeutschland und Großbritannien sogar von den höheren Temperaturen profitieren könnten, sind die größten Einbußen am Mittelmeer zu erwarten. Wird die Agrartechnik nicht umgerüstet, könnte die Getreideernte hier um mehr als die Hälfte geringer ausfallen.

Mittelfristig sind noch deutlichere finanzielle Einbußen zu erwarten. Die Landwirte müssen ihre Produktion umstellen oder neue Formen der Bewässerung einsetzen. Doch während dieser Anpassungsphase sinkt oft die Effizienz der Produktion. Die Gewinne können daher durchschnittlich um bis zu 17 Prozent sinken, in Südeuropa sogar um bis zu 84 Prozent.

Und langfristig? Handel zum Beispiel kann den Anpassungsdruck und die wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels reduzieren, indem stärker betroffene Regionen zunehmend Produkte aus den weniger betroffenen Regionen importieren. Das Modell zeigt außerdem, dass die Klimafolgen abgemildert werden können, wenn der Getreideanbau weiter nach Norden rückt. Die bestmögliche Anpassung erreichen die Landwirte, wenn sie verschiedene Strategien und Maßnahmen kombinieren – zum Beispiel mehr Dünger, Fruchtwechsel und die Ausweitung der Ackerflächen. Dabei müssen sie sowohl in die Technik als auch in klimabezogene Weiterbildung investieren. Nur so können sie wirtschaftliche Einbußen senken.

---

**Dr. Natalie Trapp** ist Ökonomin. Sie hat am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit promoviert und an der Forschungsstelle Nachhaltige Umweltentwicklung der Universität Hamburg gearbeitet.



### **Bildnachweis**

©Imaginchina Limited/Alamy Stock Foto (Titel), ©Hung Chung Chih/Shutterstock.com (Titel innen), ©UHH/CEN/S. Lindhorst (S. 5 o.), ©Corinna Schenk/Pixabay (S. 5 u.), ©Zoonar GmbH/Alamy Stock Foto (S. 6/7), ©Imaginchina Limited/Alamy Stock Foto (S. 11 o.), ©Jenson (Xieyuliang)/Shutterstock.com (S. 11 u.), ©iStock.com/Asia-Pacific Images Studio (S. 12), ©picture alliance/Reuters/Carlos Barria (S. 14/15), ©UHH/CEN/C. Knoblauch (S. 18), ©UHH/CEN/C. Knoblauch (S. 21), ©DLR (CC-BY 3.0) (S. 23 o.), ©UHH/CEN/H. Konow (S. 23 u.), ©iStock.com/steglitzler (S. 24/25), ©NASA/JPL-Caltech (S. 29), ©UHH/CEN/J. Petzold (S. 32), ©Jack Hobhouse/Alamy Stock Foto (S. 34/35), ©NASA (S. 37 o.), ©Zichrini/Pixabay (S. 37 u.), ©Widhinugraha/Shutterstock.com (S. 41 o.), ©iStock.com/Brasil2 (S. 41 u.), ©iStock.com/RicAguiar (S. 42), ©iStock.com/Martin Kovalenkov (S. 45 o.), ©Von Shahee Ilyas-Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=621195>, ©iStock.com/Danielrao (S. 47), ©Avalok Sastri/Pixabay (S. 48 o.), ©iStock.com/RNMitra (S. 48 u.), ©picture alliance/Marten van Dijl (S. 51), ©D. Smith, ECORD/IODP (S. 52 o.), ©UHH/CEN/U. Riller (S. 52 u.), ©iStock.com/pixelfit (S. 56), ©Nolanberg11/Shutterstock.com (S. 59)

### **Herausgeber**

Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN),  
Universität Hamburg  
[www.cen.uni-hamburg.de](http://www.cen.uni-hamburg.de)

### **Redaktion**

Julika Doerffer, Stephanie Janssen, Lisa König, Ute Kreis,  
Franziska Neigenfind, Elisabeth Weidinger, Lisa Wolf  
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN)

### **Gestaltung**

HAAGEN design, [www.haagendesign.de](http://www.haagendesign.de)

### **Auflage:** 3.000

Hamburg, 2019

mit freundlicher Unterstützung des Hamburger Abendblatts



---

## ZUM INHALT

Wie bereiten sich Inselgemeinschaften auf den steigenden Meeresspiegel vor? Welchen Einfluss hat der Salzgehalt in den Ozeanen auf unser Klima? Und wie effektiv sind Chinas Bemühungen beim Klimaschutz?

In einer Artikelserie des Hamburger Abendblatts geben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Forschungszentrums CEN und des Exzellenzclusters CLICCS der Universität Hamburg regelmäßig Antwort – leicht verständlich und ohne Fachchinesisch. In unserem neunten Lesebuch haben wir zehn spannende Beiträge dieser Serie für Sie zusammengestellt.

**[www.cen.uni-hamburg.de](http://www.cen.uni-hamburg.de)**

**[www.cliccs.uni-hamburg.de](http://www.cliccs.uni-hamburg.de)**

**Twitter: @CENunihh**

