



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



# VERWANDLUNG IN DER ASCHEWOLKE

ZEHN KLIMAFORSCHER BERICHTEN



A dramatic volcanic landscape featuring a large, dark ash plume rising from a mountain. Several bright orange and red lava flows are visible, cascading down the slopes and into the foreground. The scene is set against a dark, overcast sky, creating a somber and powerful atmosphere.

# VERWANDLUNG IN DER ASCHEWOLKE

ZEHN KLIMAFORSCHER BERICHTEN

Ein Lesebuch der Hamburger Erdsystemforschung

## INHALT

4	FOSSILIEN
10	ASCHEWOLKE
16	SIBIRIEN
22	MEERESSTRÖMUNGEN
26	KENIA
33	WALDINVENTUR
38	SAUERSTOFFLÖCHER
44	VORBILDER
50	STURMFLUTRISIKO
56	KLIMAFREUNDLICH HEIZEN

## NEUE KLIMAGESCHICHTEN AUS HAMBURG

Der Klimawandel ist mit vielen Fragen verbunden. Wie wird er aussehen? Welche Folgen könnte er für uns Menschen haben? Müssen wir unser Verhalten ändern? Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Centrums für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN) versuchen Antworten zu finden – auf diese und weitere Fragen rund um den Klimawandel. Dieses Lesebuch gibt einen Einblick in ihre Forschung. Sie erfahren zum Beispiel, wie Vulkanausbrüche, Meeresspiegelanstieg und Klimaveränderungen in Zusammenhang stehen, wie Klimakonflikte vermieden werden können und ob das Wissen von Menschen über den Klimawandel ihr Verhalten beeinflusst.

Einmal im Monat schildern unsere Forscher in Gastbeiträgen im Hamburger Abendblatt ihre Arbeiten. Zehn dieser Beiträge haben wir auf den folgenden Seiten für Sie zusammengefasst.

Viel Vergnügen beim Schmökern!

## FOSSILIEN VERRATEN HISTORISCHEN MEERESSPIEGELANSTIEG

Beim Spaziergang am Nordseestrand finden sich die unterschiedlichsten Dinge. Vieles lässt die Flut im Spülsaum zurück: Plastikreste, Tang, Muscheln, Sedimente – je nachdem, was das Wasser mit sich trug. In den Böden an der Küste haben sich über Jahrhunderte ebenfalls Schichten abgelagert, deren Zusammensetzung von den Einflüssen der jeweiligen Zeitperiode bestimmt ist.

Mit Hilfe dieser „historischen Flaschenpost“ rekonstruieren wir jetzt den Meeresspiegelanstieg an heimischen Küsten. Die Methode haben wir am CEN neu für die Nordseeküste etabliert. Dazu nutzen wir bestimmte Kleinstlebewesen, die sogenannten Foraminiferen. An der Nordsee sind die meisten Arten dieser Einzeller so groß wie ein Sandkorn. Sie haben ein Gehäuse aus Kalk oder Sedimentpartikeln, das in den Ablagerungen oft über Jahrtausende als Fossil erhalten bleibt.

Am Übergang zwischen Land und Meer können nur wenige hoch spezialisierte Arten überleben. Hier trotz den Bedingungen nur, wer sich extrem an die Schwankungen angepasst hat:





mal frisches, mal salziges Wasser, mal viel Feuchtigkeit, dann wieder Austrocknung. So finden sich in Salzwiesen und Watt nur ein Dutzend Arten Foraminiferen, jede aber mit einem speziellen „Lieblingsplatz“.

Wird eine Art zum Beispiel gern häufiger mit Salzwasser überspült, lebt sie bevorzugt nah am Meeresspiegel. Eine andere toleriert dies seltener, hat also ihren optimalen Lebensraum vielleicht von 60 bis 80 Zentimetern über dem Meeresspiegel – und so fort. Diese Zonen können wir für die wenigen Arten exakt bestimmen. So erhalten wir ein statistisches Profil in der Senkrechten: Kommt Art X häufig, Art Y öfter und Art Z nur vereinzelt vor, so kann eine Probe beispielsweise nur von etwa 40 Zentimeter über dem Meeresspiegel stammen.

Im zweiten Schritt ziehen wir Bohrkern einige Meter tief aus dem Küstenvorland. Hier finden wir die Ablagerungen der vergangenen Jahrhunderte, fein übereinandergeschichtet. Millimeterweise tragen wir diese Lagen ab und können sie über die Analyse von radioaktiven Zerfallsprodukten sehr genau datieren. Anschließend untersuchen wir, welche Gemeinschaft von Foraminiferen wir hier finden und wie weit über dem Meeresspiegel die Probe demnach im entsprechenden Jahr gelegen hat. „Herausrechnen“ müssen wir nun noch Faktoren wie zum Beispiel Sturmflutereignisse und lokale Bewegungen der Erdkruste. Denn seit Verschwinden der Eismassen

vor 18.000 Jahren hebt sich die Kruste bei Norwegen immer noch, während sie bei Holland absinkt.

Bis auf wenige Zentimeter genau können wir so den historischen Meeresspiegel bestimmen. Erste Ergebnisse zeigen, dass der Wasserstand an der Nordseeküste in 150 Jahren durchschnittlich um 25 Zentimeter gestiegen ist, lokal können es bis zu 40 Zentimeter sein. Dies stimmt gut mit historischen Pegelmessungen überein, ein Hinweis für die Zuverlässigkeit der Methode. Prima, denn langfristig wollen wir Pegelstände bis zu 10.000 Jahre zurück bestimmen. Über diese Perioden gibt es keine historischen Aufzeichnungen. Doch für belastbare Aussagen, wie stark natürliche Schwankungen und wie hoch der vom Menschen gemachte Anteil am Klimawandel ist, sind solche lang zurückliegenden Daten besonders wichtig.

---

**Prof. Gerhard Schmiedl** ist Mikropaläontologe am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg und analysiert historische Klimaschwankungen.

## DIE VERWANDLUNG DES EISENS IN DER ASCHEWOLKE

Bricht ein Vulkan aus, kann das klimarelevante Folgen haben: Vulkanasche, die bis zum Ozean getragen wird, löst dort unter Umständen eine Algenblüte aus. Verantwortlich dafür ist Eisen, das sich in der Asche befindet. Es löst sich im Meerwasser auf und bringt – als natürlicher Dünger – Algen zum Wachsen.

Dabei entziehen diese der Atmosphäre  $\text{CO}_2$  und binden es in ihre Biomasse ein, was sich positiv auf das Klima auswirkt. Das Faszinierende dabei: Aus dem Vulkankrater kommend ist das Eisen nicht löslich, im Meer hingegen löst es sich auf. Wie es dazu kommt, war bisher nicht erforscht.

Da es unmöglich ist, während eines Vulkanausbruchs Proben zu nehmen, setzen meine Kollegen und ich vom Exzellenzcluster für Klimaforschung CliSAP an der Universität Hamburg Computermodelle ein, mit denen wir die Realität abzubilden versuchen. Dabei simulieren wir mit Rechengleichungen die physikalischen und chemischen Prozesse, die sich in der heißen Wolke aus Asche und Gas abspielen. Damit können wir beispielsweise untersuchen, unter welchen Bedingungen sich





die chemischen Verbindungen in der Rauchwolke verändern. Spielen die unterschiedlichen Hitzegrade in der Rauchfahne eine Rolle? Oder etwa die Plattentektonik unterhalb des Vulkans, die für den Ausbruch verantwortlich ist?

Tatsächlich spielen sich in der Aschewolke eine Reihe von Prozessen ab, die die chemische Zusammensetzung des Eisens verändern und es sprichwörtlich „auflösen“: Der Vulkan spuckt anfangs bei etwa 1.000 Grad eine große Menge an Aschepartikeln und Gasen aus. Vulkanasche ist aber mit herkömmlicher Asche nicht zu vergleichen. Man stellt sie sich besser als kleinste Lavafetzen vor. Mein Modell zeigte mir, was genau passiert, wenn sich der Rauchschwaden auf seinem rasanten Weg in die Atmosphäre abkühlt. Bei etwas weniger als 100 Grad kondensiert Wasserdampf und bildet eine Art Hülle um die Aschepartikel. Die entstandenen Tröpfchen absorbieren die umgebenden Gase wie Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff. Dadurch werden die Tröpfchen zu Säure, beispielsweise hochätzender Salzsäure, und greifen die Oberfläche der Aschepartikel an. Derart angeätzt, werden Eisenionen aus den Partikeln gelöst. Diese sind nun wasserlöslich.

Mithilfe meines Modells habe ich herausgefunden, welche Prozesse die Eisenlöslichkeit von Vulkanasche beeinflussen. Jetzt möchte ich mein Modell weiter verbessern, um noch genauere Untersuchungen durchzuführen. Beispielsweise

gehe ich im Moment noch von einer trockenen Atmosphäre aus. Bricht ein Vulkan jedoch in einer Tropenregion aus, beeinflusst das feuchte Klima die Kondensation des Wassers. Ob ein feuchtes Umfeld mehr oder weniger Eisen aus der Asche löst, könnte wichtig sein – entsprechend stark oder weniger stark wäre die Algenblüte im Meer.

---

**Dr. Gholam Ali Hoshyaripour** hat am Exzellenzcluster für Klimaforschung CliSAP an der Universität Hamburg zu Eisen in der Aschewolke von Vulkanen promoviert.



## TAUT SIBIRIEN AUF?

Für schwer zugängliche Regionen rekonstruieren Wissenschaftler das Klima und mögliche Veränderungen mit Computermodellen – denn Beobachtungsdaten sind rar. Für Sibirien lagen bisher nur sehr grobe Rekonstruktionen vor.

Berechnet wurden sie mit sogenannten Globalmodellen. Diese ermitteln unterschiedliche Parameter wie Schneebedeckung oder Lufttemperatur – für die gesamte Erdoberfläche und für lange Zeiträume. So erhält die Wissenschaft Daten, die das Klima und seine Änderungen auch für abgelegene Regionen beschreiben. Aufgrund der groben Auflösung bleiben viele Details jedoch unsichtbar.

Um auch kleinräumige Veränderungen zu erkennen, habe ich zusammen mit meinen Kollegen vom Exzellenzcluster für Klimaforschung CliSAP jetzt erstmals ein regionales Klimamodell für dieses Gebiet angewendet. Regionale oder lokale Unterschiede lassen sich damit genauer als mit einem Globalmodell beschreiben, sogar zwischen benachbarten Gebirgstälern. Das erfordert einen höheren Arbeits- und Rechenaufwand – und es gilt zu prüfen, ob sich dies lohnt.





Trotzdem ist es wichtig, das globale Klima zu kennen, denn es muss für die detaillierte Rekonstruktion sozusagen als Randbedingung zur Verfügung stehen. Deshalb habe ich das regionale Modell in das globale eingebettet – es funktioniert quasi als Lupe, mit der ich in das gröbere Modell hineinzoomen kann. Auf diese Weise habe ich die Schneebedeckung für die letzten sechzig Jahre errechnet. Für Sibirien ein Parameter, aus dem sich wichtige Rückschlüsse ziehen lassen. Denn Schnee reflektiert 90 Prozent der eingestrahnten Sonnenenergie. Eine dunkle Landoberfläche hingegen nur 20 bis 40 Prozent. Das hat Einfluss auf die Temperatur der Luft, des Bodens und des Wassers – und somit auf das gesamte Klimasystem.

Die Rechnungen für meine Untersuchung haben die Supercomputer am Deutschen Klimarechenzentrum übernommen. Die Ergebnisse habe ich ausgewertet und festgestellt: Die genauere Berechnung des sibirischen Klimas mit dem Regionalmodell hat sich gelohnt. Wir haben nun detailliertere und damit realistischere Daten der Schneebedeckung Sibiriens vorliegen – flächendeckend und für jeden einzelnen Tag der vergangenen 60 Jahre.

Meine Auswertungen zeigen, dass die Änderungen der Schneebedeckung regional und zeitlich sehr viel unterschiedlicher sind, als bisherige Berechnungen gezeigt haben. Vor

allem in Teilen des nordwestlichen Sibiriens hat die Schneebedeckung im Winterhalbjahr abgenommen. Die Klimaänderung ist also offensichtlich, und das könnte Folgen haben: Taut der Permafrostboden Sibiriens auf, werden zusätzliche Treibhausgase frei – die globale Erwärmung könnte sich verstärken. Auch die Eisbedeckung des Meeres und damit die Schifffahrtsrouten könnten sich ändern, wenn sich das Klima Sibiriens dauerhaft erwärmt.

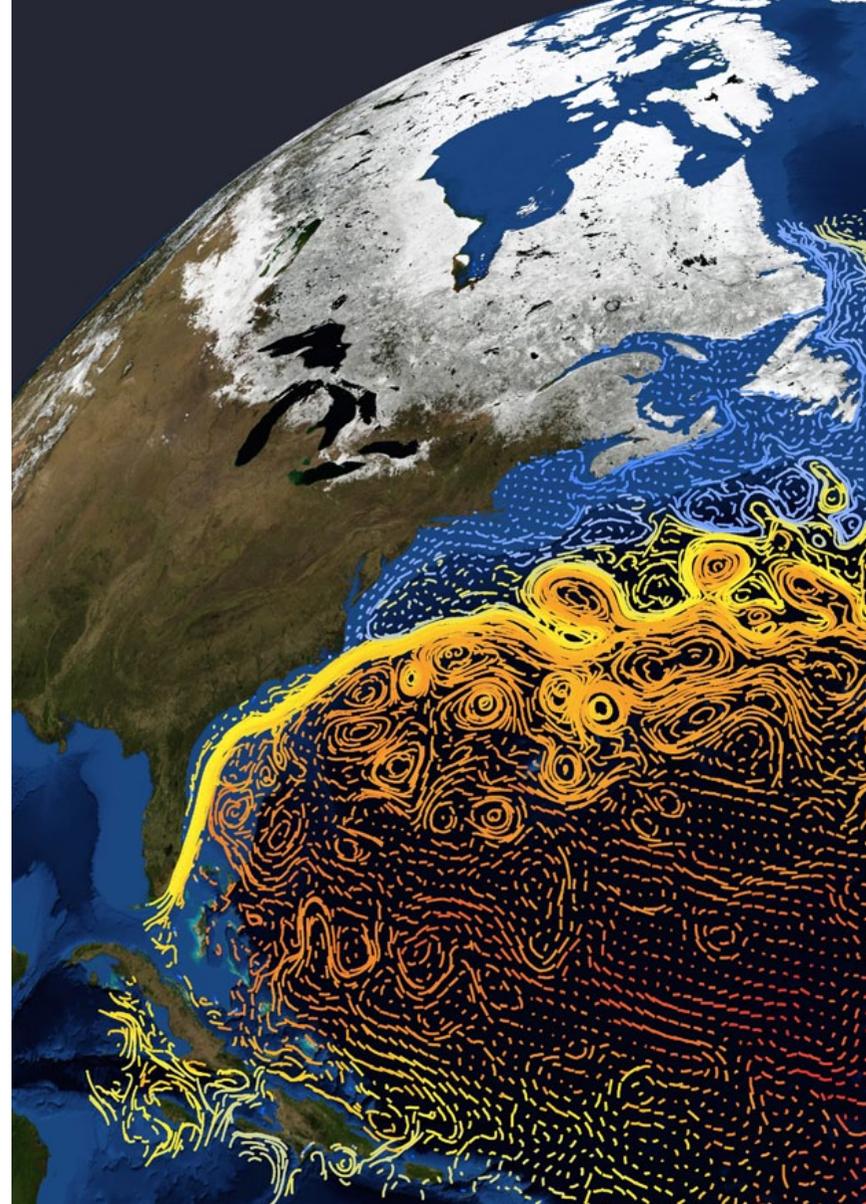
---

**Dr. Katharina Klehmet** ist Geographin am Institut für Küstenforschung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht und hat am Exzellenzcluster für Klimaforschung ClISAP promoviert.

## WIE SICH MEERESSTRÖMUNGEN VORHERSAGEN LASSEN

Er vollbringt eine enorme Leistung für das Klima: Der Ozean kann große Mengen Wärme aufnehmen und speichern. Wie Förderbänder transportieren Meeresströmungen zudem warmes Wasser vom Äquator in Richtung der Pole und sorgen so im gleichen Maß wie die Atmosphäre für eine globale Umverteilung der Wärme.

Das Nordatlantische Stromsystem, zu dem auch der Golfstrom gehört, bringt zum Beispiel warmes Wasser aus dem Golf von Mexiko bis ins europäische Nordmeer und in die Arktis – und sorgt so für ein mildes Klima in Nordeuropa. Der Golfstrom ist somit Teil einer riesigen Zirkulation, der sogenannten Atlantischen Meridionalen Umwälzbewegung. Diese wird vor allem durch Unterschiede von Temperatur und Salzkonzentration des Wassers sowie durch den Wind angetrieben: Das gen Norden fließende Oberflächenwasser wird immer kälter und damit schwerer, bis es in die Tiefe sinkt. Bildet sich Eis, bleibt das Salz im Wasser zurück und macht es noch schwerer. Das kalte salzhaltige Wasser strömt nun in der Tiefe nach Süden zurück.



Am Exzellenzcluster für Klimaforschung CliSAP der Universität Hamburg analysiere ich mit meinen Kolleginnen und Kollegen, inwiefern sich die Variabilität dieser Zirkulation und der damit verbundene Wärmetransport vorhersagen lassen: Wir prüfen mithilfe eines numerischen Rechenmodells, wie die Umwälzbewegung schwankt, also stärker oder schwächer wird. Dabei interessieren uns insbesondere die Schwankungen von Jahr zu Jahr innerhalb zehnjähriger Modell-Simulationen. Unsere Studie steht damit zwischen kurzfristigen Wettervorhersagen und langfristigen Klimaprognosen für die nächsten 100 Jahre. Für langfristige Vorhersagen sind Randbedingungen wie etwa die ansteigende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ausschlaggebend. Bei kurzfristigen Vorhersagen dagegen ist der Anfangszustand, von dem aus die Simulation gestartet wird, von großer Bedeutung. Unsere mittelfristigen Simulationen müssen beide Kriterien erfüllen.

Um abzuschätzen, wie gut die Simulationen die Variabilität der Zirkulation überhaupt vorhersagen könnten, benötigen wir eine Referenz – am besten in Form von Messdaten. Wir machen also keine Vorhersagen im eigentlichen Sinne (Forecasts). Vielmehr testen wir unsere Simulationen in der Vergangenheit (Hindcasts) gegen Referenzdaten und ermitteln, ob sie aussagekräftige Vorhersagen liefern könnten. Da Messungen im Ozean teuer und aufwändig sind, gibt es für

viele Bereiche bisher nur lückenhafte Angaben. Als Referenz für unsere Hindcasts nutzen wir deshalb eine weitere Modellrechnung, die Messdaten mit numerischen Simulationen verbindet und so ein realitätsnahes Abbild des Ozeans ergibt. Weiterer Vorteil: Wir können die Vorhersagbarkeit auf allen Breiten des Nordatlantiks berechnen, da die Analyse nicht durch fehlende Messdaten eingeschränkt ist.

Gegen die Referenz testen wir dabei nicht nur einen, sondern insgesamt etwa 200 Hindcasts, die jeweils eine mögliche Entwicklung des Ozeans repräsentieren. Je besser diese mit der Referenz korrelieren, desto besser ist die Vorhersagbarkeit.

Unsere Analyse zeigt, dass wir prinzipiell Prognosen für zwei bis fünf Jahre treffen könnten. Dabei ist entscheidend, welche Breiten wir jeweils untersuchen. Die längste Vorhersagbarkeit zeigt sich zwischen subtropischem und subpolarem Wirbel auf Höhe von 40 Grad Nord – jener Linie, auf der New York und Madrid liegen.

---

**Dr. Bente Tiedje** ist Ozeanographin am Climate Service Center Germany (GERICS) des Helmholtz-Zentrums Geesthacht.

## KLIMAKONFLIKTE IN KENIA SIND VERMEIDBAR

Der Klimawandel trifft vor allem Entwicklungsländer hart. So auch Kenia, meine Heimat. Denn sie ist von einem klimasensiblen Sektor abhängig: der Landwirtschaft. Doch führen Dürren und Wassermangel wirklich zwangsläufig zu gewaltsamen Konflikten, wie oft propagiert wird?

Wie nimmt das ländliche Kenia den Klimawandel wahr – und gibt es vor Ort bereits Strategien zur Anpassung? Um diesen Fragen auf den Grund zu gehen, untersuchte ich die Verhältnisse in dem kleinen Ort Loitoktok. Am Fuße des Kilimandscharo grenznah zu Tansania gelegen, steht er exemplarisch für ein ländliches, aufstrebendes Kenia: Die Landwirtschaft und die Infrastruktur wachsen; der Wildlife-Tourismus läuft gut. Aber es mischen sich auch verschiedene Ethnien – es gibt also ein gewisses Konfliktpotenzial. Gleichzeitig belegen Studien, dass der Klimawandel bereits zu weniger Niederschlag, höheren Temperaturen und höherer Tiersterblichkeit führt.

In Loitoktok nahm ich Nutzen stiftende ökologische Bereiche wie Nahrungsmittelproduktion, Tierwelt, Wasser oder





Heilpflanzen unter die Lupe. Diese sind wichtig für künftiges wirtschaftliches Wachstum. Ich ermittelte ihren ökonomischen Wert und untersuchte Klimaanpassungsstrategien der Regierung. Vor allem aber analysierte ich die jeweiligen Netzwerke – beispielsweise von Institutionen, Landwirten, Nichtregierungsorganisationen oder staatlichen Stellen. So erhielt ich ein Bild über das Beziehungsgeflecht und konnte erkennen, welche Bereiche gut vernetzt sind und welche nicht. Zusätzlich befragte ich insgesamt 154 Personen aus den Sektoren per Fragebogen, in Gruppendiskussionen und Expertengesprächen. Ich fand heraus, wie die Befragten den Klimawandel wahrnehmen, ob sie etwas dagegen tun, wann Konflikte auftreten und wer diese gegebenenfalls löst. So konnte ich Unterschiede der verschiedenen Bereiche im Umgang mit Klimawandel und Konflikten erkennen.

Interessanterweise zeigte sich, dass Land- und Viehwirtschaft gut vernetzt sind, der Wassersektor nur spärlich und der Bereich Heilpflanzen faktisch gar nicht. Höchstwahrscheinlich hängt dies damit zusammen, dass er staatlich nicht anerkannt ist. Meine Daten zeigten außerdem, dass Konflikte als Folge von Klimaänderungen nicht zwangsläufig auftreten müssen: Vor allem gut vernetzte Bereiche handeln bereits. Beispielsweise setzt die Land- und Tierwirtschaft auf klimarobustes Saatgut oder Tierarten, sammelt Regenwasser oder forstet



auf, um der Bodenerosion entgegenzuwirken. Sind Akteure dagegen kaum vernetzt, hat dies meist mit fehlender Koordination oder Finanzkraft, zu wenig Personal oder – im Falle der Heilpflanzen – mit fehlenden Rechtsvorschriften zu tun.

Um Wege für eine bessere Klimaanpassung für Loitokitok oder andere Landkreise in Kenia zu ebnet, kann meine Methode fehlende Verbindungen zwischen den Akteuren sichtbar machen. So wird deutlich, wie sie ihre Netzwerkstruktur und somit auch ihr Ressourcenmanagement verbessern können. Denn: Gut vernetzte Bereiche tauschen sich vermehrt zu Klimawandel und -wirkung aus und sind somit besser angepasst – Konflikte sind also kein Muss.

---

**Dr. Grace Wambui Ngaruiya** hat am Exzellenzcluster für Klimaforschung CliSAP an der Universität Hamburg zur Anpassungsfähigkeit Kenias an den Klimawandel promoviert.

## WAS IST DER REGENWALD WERT?

Umwelt- und Klimaschutz braucht Investoren. Das zeigt dieses Beispiel: Bauern vor den Toren Münchens düngen nur wenig und bekommen dafür Geld. Das schützt das Grundwasser und hält die Produktionskosten für sauberes Trinkwasser niedrig. Alle Seiten profitieren – die Stadtwerke, die als kommunale Versorger in Wasser investieren, die Bauern und die Umwelt.

Ähnlich könnte das in den Tropen und Subtropen funktionieren, wo Regenwälder als Kohlenstoffspeicher ein wichtiger Faktor in der Klimarechnung sind. Mit jedem vernichteten Baum steigt die Fieberkurve der Erde. Wie man Wald einen Geldwert zuordnen und dadurch schützen kann, damit beschäftige ich mich als Klimaforscher am Exzellenzcluster für Klimaforschung CliSAP.

Drei Mal war ich für Biomasse-Inventuren in Madagaskar. In definierten Waldstücken vermaß und dokumentierte ich mit lokalen Helfern jeden Baum, unter anderem Stammdurchmesser, Höhe, Kronengröße und -form. Ziel war es, das Gesamtvolumen an Holz zu ermitteln und mithilfe von Satellitendaten die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs in den



nationalen Wäldern zu errechnen. Der Vergleich mit älteren Daten sagte uns, wieviel Kohlenstoff bereits in der Vergangenheit durch Waldzerstörung frei wurde. In den nächsten Jahren zeigt der Vergleich mit diesem Referenzwert dann, ob der Inselstaat weniger Wald als bisher vernichtet und so seine Emissionen reduziert hat.

Diese wissenschaftsbasierte und mit allen Akteuren abgestimmte Methode ist ein wichtiger Schritt, um das UN-Klimaschutzprogramm REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) umzusetzen. Die Idee: Wer von der Klimaleistung des Waldes profitiert, zahlt auch dafür. Geldgeberstaaten wie Deutschland oder Norwegen investieren in Waldschutz in Entwicklungsländern. Für letztere ist im Moment fast jede Form der Landnutzung attraktiver, als den Tropenwald stehen zu lassen: Bauern in Ländern wie Indonesien oder Brasilien verwandeln Wald in Ackerfläche. Aber auch Konzerne beteiligen sich an der Zerstörung, um Plantagen für Palmöl oder Futtermittel anzulegen. Indirekte Antreiber der Zerstörung sind daher auch wir Konsumenten in den Industrienationen.

Eine Herausforderung bei REDD+ ist die gerechte Verteilung der Gelder, da das Beobachtungssystem die Verhältnisse vor Ort niemals ganz exakt wiedergibt. Es bleiben immer Unsicherheiten durch geschätzte und hochgerechnete Zahlen.

Ich arbeite daran, diese Unsicherheiten zu reduzieren. Denn an REDD+ teilnehmende Länder, die ihre Wälder schonen und nachhaltig bewirtschaften, rechnen mit Geld aus dem Umweltschutzprogramm. Ein ungerechter Verteilmechanismus würde sie um diese Einnahmen bringen. Umgekehrt würden Geberstaaten als Investoren abgeschreckt, wenn Entwicklungsländer sich unberechtigt bereichern könnten. Die UN muss hier eine Balance finden, damit sich beide Seiten dauerhaft beteiligen.

Die Anstrengung wäre es wert. Die UN schätzt den weltweiten Verlust der Waldfläche auf 13 Millionen Hektar pro Jahr. Das entspricht der Gesamtheit der Wälder in Deutschland und Österreich. So entstehen bis zu ein Fünftel der vom Menschen verursachten Emissionen. An diesem Punkt anzusetzen, ist der kostengünstigste Weg, unser Klima zu schützen.

---

**Dr. Daniel Plugge** ist Holzwirt und arbeitete am Institut für Weltforstwirtschaft der Universität Hamburg und im Exzellenzcluster für Klimaforschung ClISAP.

## **DAS SAUERSTOFFLOCH DER ELBE ALS KLIMAFAKTOR**

In den letzten 30 Jahren hat sich die Wasserqualität der Elbe enorm verbessert. Gelangten noch in den 80er Jahren Dünger, Abwasser und Schadstoffe nahezu ungefiltert in den Fluss, setzte spätestens nach der Wende ein Umdenken ein. Doch hat die bessere Wasserqualität auch einen Effekt auf das Klima?

Denkbar wäre es. Die Elbe ist ein wichtiger Transportweg Richtung Nordsee. Auch für Kohlenstoff, der im Klimageschehen eine wesentliche Rolle spielt. Kommt der Kohlenstoffkreislauf aus dem Gleichgewicht, wird CO<sub>2</sub> vermehrt frei – mit Folgen für das Klima. In Metropolen wie Hamburg ist der Einfluss des Menschen besonders groß. Daher haben meine Kollegen vom Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg und ich das Elbeästuar untersucht, also den Bereich der Flussmündung, auf den Ebbe und Flut noch einwirken.

Wir interessierten uns dabei für den Kohlenstoff- und den Siliziumkreislauf, die voneinander abhängen. Winzige Algen spielen darin eine wichtige Rolle: In sauberem, licht-

durchflutetem Wasser binden sie CO<sub>2</sub> in ihre Biomasse ein und entnehmen dem Wasser gleichzeitig gelöstes Silizium als „Baustoff“. Sterben sie, sinken sie in die Tiefe und nehmen den Kohlenstoff mit. Dies ist relevant für den globalen CO<sub>2</sub>-Haushalt, da das CO<sub>2</sub> damit aus dem Kreislauf entfernt wurde. Auch das Silizium, nun in Form kleinerer Schalenpartikel, sinkt auf den Grund.

Meine Studie basiert auf Wasserdaten von Hamburger Behörden der letzten 30 Jahre. Außerdem habe ich eigene Wasserproben genommen und analysiert. Bisher wurde nur der salzwasserhaltige Abschnitt ab Glückstadt untersucht. Wir haben erstmals die Hafenregion einbezogen, den Süßwasserbereich. So entstand ein detailliertes Bild der Stoffflüsse, räumlich wie zeitlich, und es wurde sichtbar, wo viel CO<sub>2</sub> freigesetzt wird. Auch zeigte sich, dass der Süßwasserbereich eine große Rolle spielt: Dort, in Stadtnähe, wird – gemessen an der Fläche – am meisten CO<sub>2</sub> zwischen Wasser und Atmosphäre ausgetauscht.

Überraschend war, dass die Wasserqualität der Elbe über die Jahre zwar besser wurde, im Ästuar aber unerwünschte Effekte auftraten: Sauberes Wasser müsste theoretisch zu mehr Algenwachstum und mehr Sauerstoff führen. Doch im Gegenteil: Im Hafen gab es vermehrt regelrechte „Sauerstofflöcher“. Dort ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt so hoch und der Sauerstoff-





gehalt derart niedrig, dass sogar Fische sterben. Wie konnte das sein?

Durch menschliche Eingriffe wie die Elbvertiefung reduziert sich das lichte Flachwasser und in der tiefen, dunklen Strömung können die Algen nicht überleben. Sie sterben ab und werden von Bakterien zersetzt, die dabei  $\text{CO}_2$  produzieren und viel Sauerstoff verbrauchen.

Mit den toten Algen lagert sich auch das Silizium auf dem Elbgrund ab. Es wird dort später entweder von Organismen aufgelöst oder aber mit den Sedimenten ausgebagert, um die Fahrrinne für die Schiffe freizuhalten. Das könnte erklären, warum weniger Silizium in der Nordsee ankommt als erwartet.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Wasserqualität der Elbe zwar über die Jahre verbessert hat, der Einfluss des Menschen – beispielsweise durch die Elbvertiefung – bleibt jedoch groß.

---

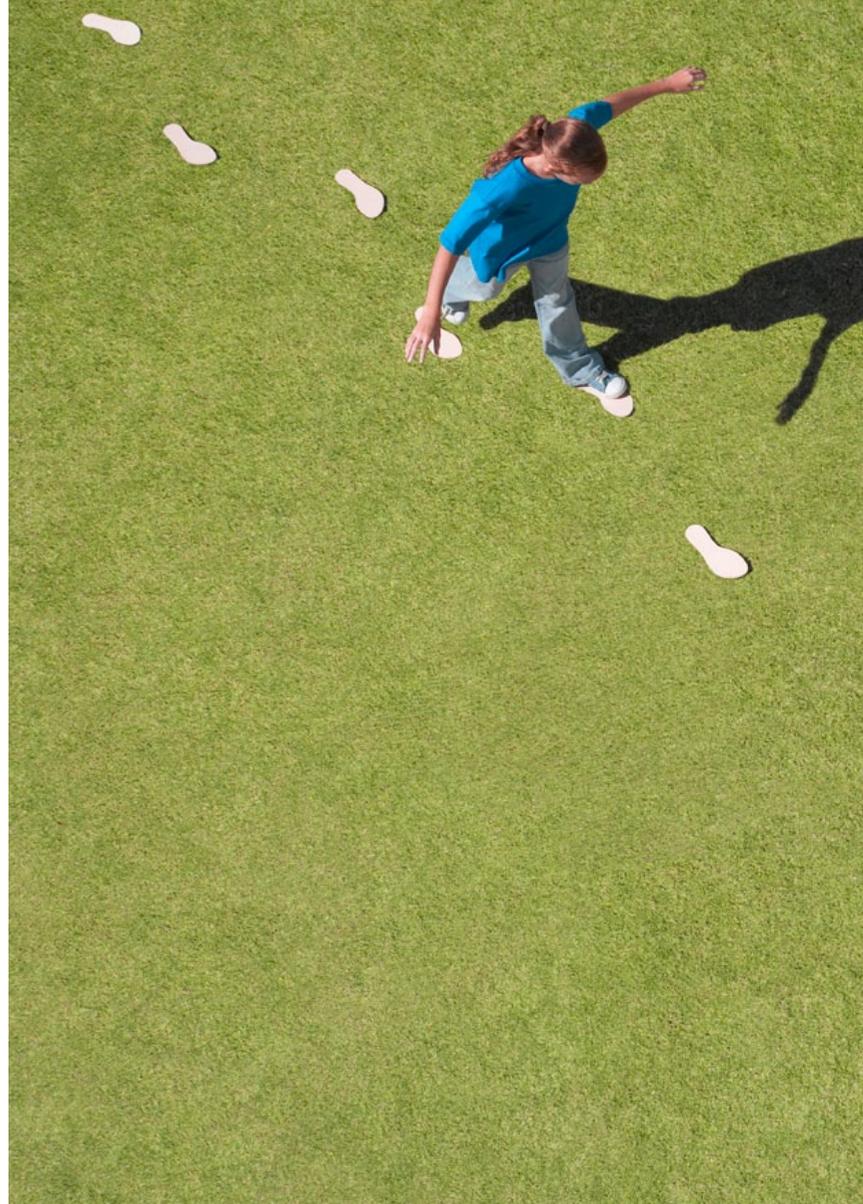
**Dr. Thorben Amann** ist Geologe am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg

## WIE MENSCHEN ZUM SCHUTZ DES KLIMAS IHR VERHALTEN ÄNDERN

Was haben Schreibmaschinen mit dem Klimawandel zu tun? Die Antwort: Beide basieren auf der sogenannten Pfadabhängigkeit. Diesen Begriff verwenden wir in der Soziologie, wenn frühere Entscheidungen Macht über die Gegenwart haben.

Ein Beispiel ist die Anordnung der Buchstaben auf Tastaturen. Sie wurde im neunzehnten Jahrhundert entwickelt, so dass sich die Typenhebel der Schreibmaschinen nicht verhaken. Obwohl moderne Geräte wie Laptops oder Smartphones ohne solche Hebel auskommen, blieb die Anordnung unverändert. Grund ist die weite Verbreitung und die damit einhergehende Gewöhnung.

Aus demselben Grund fällt es uns schwer, unser Verhalten auf klimaschonende Alternativen umzustellen. Bestimmte Routinen – etwa die Autofahrt ins Büro – sind tief in unserer Gesellschaft verwurzelt und beruhen auf traditionellen Technologien wie dem Verbrennungsmotor. In einer solchen Situation kann der eingeschlagene Pfad nur mühevoll verlassen werden. Beispiel Elektromobilität: Da es bislang nur wenige Ladestationen gibt, sind Elektroautos im Alltag noch nicht überall prak-





tikabel. Auch verbreitete Vorstellungen von Geschwindigkeit und PS-Stärke stehen der neuen Technologie im Wege.

Am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg untersuche ich solche Pfadabhängigkeiten. Leitende Frage ist, wie Menschen handeln, wenn ihre alten Verhaltensweisen nicht mehr funktionieren. Grundlage sind dabei Erkenntnisse aus der Sozialpsychologie: Häufig wägen Menschen ihre Entscheidungen nicht ab, sondern imitieren das Verhalten ihrer „persönlichen Experten“. Je nach Thema und Situation kann das der persönliche Computerexperte, der Nachbar oder die breite Masse sein. Stellt sich der Experte als verlässlich heraus, folgt der Betroffene seinem Verhalten auch in Zukunft. Auf diese Weise ergeben sich ganze Netzwerke von Abhängigkeiten. Diese bestehen zum Beispiel aus Freunden und Bekannten, aber auch aus den Medien – also aus allen Quellen, aus denen eine Person Vorlagen für ihre Handlungen bezieht. Je stärker die Abhängigkeit, umso geringer die Chance für Veränderungen.

Interessanterweise bewirkt derselbe Mechanismus manchmal auch das Gegenteil. Dies kann passieren, wenn die Betroffenen merken, dass eingewohnte Verhaltensweisen nicht mehr praktikabel sind. So schaden etwa Benzin- und Dieselmotoren dem Klima. Damit sich etwas ändert, sind zwei Dinge wichtig: der technologische Rahmen und die

persönlichen Experten. Gäbe es etwa mehr Ladestationen, würden Käufer von Neuwagen eher über ein Elektroauto nachdenken. Die neuen Eigentümer wären dann frisch gebackene Experten innerhalb ihrer Netzwerke. Bereits wenige Pioniere könnten hier viel bewirken. Wie bei Facebook oder Twitter würden immer mehr Bekannte und Freunde die neue Verhaltensweise übernehmen. Resultat wäre eine höhere Nachfrage nach Elektroautos, was die Produktion fördern und die Preise drücken würde. Dies stärkt wiederum den neuen Pfad, bis die Technologie sich schließlich flächendeckend durchsetzt. Klimaschutzende Alternativen haben also durchaus eine Chance, wenn die technologischen Voraussetzungen stimmen – und wenn genügend Pioniere gewonnen werden.



---

**Jasmin S. A. Link** ist mathematische Soziologin am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg.



## **DYNAMISCHE RECHENGITTER VERBESSERN STURMFLUT-MODELL**

Taifun Haiyan und Hurrikan Katrina haben gezeigt, wie wichtig es ist, Menschen vor Extremereignissen rechtzeitig zu warnen und in Sicherheit zu bringen. Heute liefern häufig Computer-Simulationen die Basis für Risikoanalysen. An der Schnittstelle zwischen Geowissenschaften und Mathematik erarbeite ich solche Szenarien für Sturmfluten.

Zusammen mit meinen Kolleginnen und Kollegen entwickle ich Verfahren und Computerprogramme, die komplexe Naturphänomene mathematisch beschreiben. Mit meinem Modell lässt sich zum Beispiel berechnen, wie hoch das Wasser wo steht und wie schnell es sich in eine bestimmte Richtung bewegt.

Zunächst einmal übersetzen wir Naturgesetze in mathematische Gleichungen, damit moderne Rechner sie verarbeiten können. Dabei wird die jeweilige Region mit einem Rechengitter überzogen, das sich aus Dreiecken zusammensetzt. An fest definierten Punkten dieser Dreiecke kann ich nun die aktuellen Werte für die Richtung und Geschwindigkeit (Impuls) und Menge des bewegten Wassers (Masse) ein-

geben. Diese Werte lasse ich in mathematische Gleichungen für Masse- und Impulserhaltung einfließen. Damit wird das Anschwellen und Abklingen des Impulses und die Wasserhöhe simuliert. Je kleiner die Dreiecke, desto höher die Auflösung und desto genauer das Modell – ein entscheidender Aspekt.

Denn eine große Herausforderung bei der Modellierung von Überflutungen ist es, Prozesse auf unterschiedlichen Größen-Skalen korrekt darzustellen: Selbst mit unseren gesamten Computerressourcen ist es nicht möglich, alle Vorgänge gleichzeitig zu berechnen. Für realistische Simulationen müssen wir verschiedene Parameter berücksichtigen, die auf die Bewegung des Wassers wirken – zum Beispiel das Profil von Küsten und des Untergrunds von Gewässern oder den Antrieb durch Wind. Mit unserem Gitter können wir diese komplexen Geometrien präzise darstellen. Wir möchten aber vor allem auch kleinskalige Phänomene wie Übergänge von nass zu trocken möglichst genau berechnen. Um all diese Effekte abzubilden, habe ich mein Modell auf einem sogenannten adaptiven Rechengitter entwickelt.

Adaptive Gitter sparen Rechenressourcen, indem sie nur dort ein engmaschiges Netz und damit eine hohe Auflösung erzeugen, wo es benötigt wird. An Übergängen und Rändern – etwa zwischen nass und trocken – liefert das Gitter eine feine Auflösung. An weniger relevanten Positionen genügt ein





gröberes Raster. Diese automatische Anpassung bietet einen intelligenten Ansatz, Überflutungen akkurat und effizient zu simulieren. Sie verringert Dauer und Kosten der Berechnungen, ohne dass die Ergebnisse ungenau werden. Gleichzeitig ist es uns sehr wichtig, dass unser Modell praktikabel und gut nachvollziehbar ist. Deshalb haben wir es so entwickelt, dass sich auch andere Fachleute schnell einarbeiten können.

In der Theorie hat sich mein Verfahren als sehr zuverlässig erwiesen. Erste praktische Probeläufe haben dies bestätigt. Um wirklich sicher zu sein, dass die simulierten Werte realistisch sind, werde ich sie anhand von Messdaten vergangener Extremereignisse noch prüfen. Diesen Schritt nennt man Validierung. Als nächstes werde ich mein Modell nun am Beispiel des Hurrikans Ike testen. Mit Windböen von über 150 Kilometern pro Stunde fegte der Wirbelsturm 2008 über Texas hinweg und überschwemmte die dicht besiedelte Küste am Golf von Mexiko. Nach der Validierung kann meine Methode dazu beitragen, Sturmflutmodelle und damit auch Frühwarnsysteme zu verbessern.

---

**Dr. Nicole Beisiegel** entwickelt numerische Methoden in den Geowissenschaften und hat am Exzellenzcluster für Klimaforschung CLISAP an der Universität Hamburg promoviert.

## **KLIMAFREUNDLICH HEIZEN: VIELE VORBEHALTE, NOCH ZU WENIG WISSEN**

Um den Klimawandel zu begrenzen, müssen weniger Treibhausgase erzeugt werden. Was viele nicht wissen: Private Haushalte produzieren mindestens genauso viele Emissionen wie die Industrie. Innerhalb des Haushaltssektors ist wiederum der größte Posten das Heizen, auf das rund Dreiviertel der hier produzierten Emissionen entfallen.

Als Soziologin am Exzellenzcluster für Klimaforschung CliSAP der Universität Hamburg interessiere ich mich dafür, welche Rolle Routinen beim Heizen spielen und welches Wissen über klimafreundliche Alternativen vorhanden ist. Um dies herauszufinden, habe ich zwei Fallbeispiele untersucht: Heizen im sogenannten Smart Home und im Passivhaus.

Smart Homes sind eine relativ neue Entwicklung, bei der Computer für effizientes Heizen sorgen. Dadurch wird nur so viel Heizenergie verbraucht, wie tatsächlich nötig. Etwas anders funktioniert das Passivhaus, das durch optimale



Wärmedämmung und kontrollierte Be- und Entlüftung fast komplett ohne aktives Heizen auskommt. Weil praktisch keine Wärme entweicht, genügen den Großteil des Jahres passive Wärmequellen wie Haushaltsgeräte oder der menschliche Körper.

Für meine Studie habe ich ausführliche Interviews mit Hamburgerinnen und Hamburgern geführt, die in einem Passivhaus oder einem Smart Home wohnen. Außerdem habe ich Experten aus der Bau- und Energiebranche befragt und Beobachtungen bei Energieunternehmen, Informationsveranstaltungen sowie in Passivhäusern und Smart Homes durchgeführt. Das wichtigste Ergebnis: Es gibt viele Vorbehalte gegen diese Heizlösungen, die häufig mit liebgewonnenen Routinen und bestimmten Mythen zusammenhängen. So sind etwa viele Menschen überzeugt, in Passivhäusern könne man die Fenster nicht öffnen. Und Smart Homes stehen in dem Ruf, kompliziert und für die Bewohner unkontrollierbar zu sein. Hinzu kommt, dass Heizen in Passivhäusern und Smart Homes ungewohnt ist: Wenn es draußen kalt ist, drehen wir normalerweise die Heizung auf. In Passivhäusern und Smart Homes ist dies nicht nötig – das irritiert viele Menschen.

Dies ändert sich, sobald die Menschen besser mit diesen Heizformen vertraut sind. Meine Studie zeigt, dass viele

anfängliche Skeptiker nach kurzer Zeit in einem Smart Home oder Passivhaus zu regelrechten Fans werden. Diese Menschen haben sich häufig nicht aus Umweltschutzgründen auf die neuen Heizlösungen eingelassen, sondern wegen der geringeren Nebenkosten oder weil die Wohnungen gut ausgestattet und innerstädtisch gelegen sind. Viele Bewohner von Passivhäusern haben sich auch deshalb für den Einzug entschieden, weil sie das soziale Miteinander schätzen – Passivhäuser werden häufig genossenschaftlich gebaut und verfügen über attraktive Gemeinschaftsflächen. Zudem profitieren Menschen mit niedrigem Einkommen in solchen Projekten oft von vergünstigten Mieten. Mit entsprechenden Förderprogrammen kann die Politik so zwei Ziele gleichzeitig erreichen: mehr sozialen Wohnungsbau und weniger Emissionen.

---

**Johanna Matzat** ist Soziologin am Centrum für Globalisierung und Governance der Universität Hamburg. Sie forscht im Rahmen des Exzellenzclusters für Klimaforschung CliSAP.

## Bildnachweis

©Ragnar Th Sigurðsson/Arctic-Images.com (Titel), ©iStock.com/Justinreznick (Titel innen, S. 1), ©By Strandkrabbe - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12757303> (S. 5 o.), © Gerhard Schmiedl (S. 5 u.), ©Von Ra Boe/Wikipedia, CC BY-SA 3.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19689807> (S. 6/7), © iStock.com/andersen\_oystein (S. 11 o.), ©By tarotastic on Flickr - <http://www.flickr.com/photos/tjt195/3559417932/>, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8046023> (S. 11 u.), ©BRUCE ALEXANDER/AFP (S. 12/13), ©Justin Jin/Agentur Focus (S. 16 o.), ©DKRZ/M. Böttinger (S. 16 u.), ©Wintershall/Justin Jin (S. 18/19), ©UHHCCEN/F. Brisc (S. 23), ©iStock.com/codyphotography (S. 27 o.), ©Andrzej Kubik/Shutterstock.com (S.27 u.), ©iStock.com/MHGGALLERY (S. 28/29), ©“Women watering mukau sapplings” by Flore de Preneuf/World Bank Photo, <https://flic.kr/p/E7nirf>, CC BY-NC-ND 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/legalcode> (S. 31 o.), ©“Farmers in a community hard hit by drought” by Flore de Preneuf/World Bank Photo, <https://flic.kr/p/ETAAAs>, CC BY-NC-ND 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/legalcode> (S. 31 u.), ©iStock.com/Ramdan\_Nain (S. 34), ©Ulet Ifansasti/Greenpeace (S. 35 o.), ©Daniel Beltrá/Greenpeace (S. 35 u.), ©Nordseefoto/Beate Ulich (S. 40/41), ©Photo: www.sylent-press.de (S. 42 o.), ©Von Walter Rademacher - Eigenes Bild Canon EOS 400D, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3908260> (S. 42 u.), ©iStock.com/Martin Barraud (S. 45/46), ©Von Avda - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28332724> (S. 49 o.), ©Camille Kimberly/Unsplash.com (S. 49 u.), ©iStock.com/YinYang (S. 52/53), ©By AP Photo/U.S. Coast Guard, Petty Officer 2nd Class Kyle Niemi - Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3899195> (S. 54), ©Von Michael Schmid - Selbst fotografiert, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2921480> (S. 57 o.), ©iStock.com/vchal (S. 57 u.)

## 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, Ute Kreis,  
Franziska Neigenfind und Lisa Wolf.  
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN)

## Gestaltung

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

## Auflage: 3.000

Hamburg, 2017

mit freundlicher Unterstützung des Hamburger Abendblatts

---

## ZUM INHALT

Wie hängen das Verhalten von Menschen und ihr Wissen über den Klimawandel zusammen? Können Klimakonflikte vermieden werden? Und wie beeinflusst die Aschewolke eines Vulkanausbruchs unser Klima?

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

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

**[www.clisap.de](http://www.clisap.de)**

