



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

CENTRUM

FÜR ERDSYSTEMFORSCHUNG
UND NACHHALTIGKEIT (CEN)

STRASSENBÄUME IM STRESS

ZEHN KLIMAFORSCHER*INNEN BERICHTEN





STRASSENBÄUME IM STRESS

ZEHN KLIMAFORSCHER*INNEN BERICHTEN

Ein Lesebuch der Hamburger Erdsystemforschung

INHALT

- 4 DINOALGEN
- 10 WOHLFÜHLPLÄTZE
- 16 STADTBÄUME
- 24 KLIMABEWUSSTE LANDWIRTSCHAFT
- 30 KLIMAVERHANDLUNGEN
- 34 DURSTIGE ELEFANTEN
- 41 ATOMMÜLL
- 46 PAKISTANS BAUERN
- 52 NORDSEEVERSAUERUNG
- 56 WANDERENDE PFLANZEN

NEUE KLIMAGESCHICHTEN AUS HAMBURG

Städte ohne Bäume? Schwer vorstellbar! Sie spenden Schatten, kühlen die Luft und produzieren Sauerstoff. Doch Trockenheit, Abgase und versiegelte Böden machen es ihnen schwer. Wie können wir für Eiche, Linde und Ahorn bessere Lebensbedingungen schaffen und unsere „grünen Lungen“ erhalten? 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 außerdem, was wiederbelebte Dinoalgen über den Klimawandel verraten, wie sich in der Landwirtschaft Treibhausgase reduzieren lassen und warum wir bei der Suche nach Atommülllagern schon jetzt an die nächste Eiszeit denken sollten.

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 VON 1920 – KLEINE ALGEN WERDEN WIEDERBELEBT

Pflanzliches Plankton ist erstaunlich: Trotz Miniformat bildet es die Nahrungsgrundlage für sämtliches Leben im Meer und produziert die Hälfte des Sauerstoffs auf der Erde. Wir beobachten darum genau, wie sich der Klimawandel auf die kleinen Algen auswirkt.

Passen sie sich den höheren Temperaturen an? Dazu habe ich erstmals die Urahnen einer Planktonart wiederbelebt, die lange Jahre im Sediment ruhen kann. Was zeigt der Vergleich mit den Artgenossen von heute?

Die Planktonart gehört zu den sogenannten Dinoflagellaten. Meine „Dinos“ stammen aus dem Meeresboden vor der Küste von Helsinki. Ihr Leben wird stark von der Temperatur beeinflusst. Wird ihnen zu warm, verkapseln sie sich, fallen in ein Ruhestadium und sinken zum Meeresboden. Im Sediment können sie dann lange Zeit ohne Sauerstoff überdauern. Wenn das Meereis taut und im Frühjahr erste Sonnenstrahlen auf die dunkle Wasseroberfläche treffen, können die Ruhestadien wieder aktiv werden. Frühjahrsstürme wirbeln den Boden auf, so bekommen sie wieder Kontakt mit Sauer-

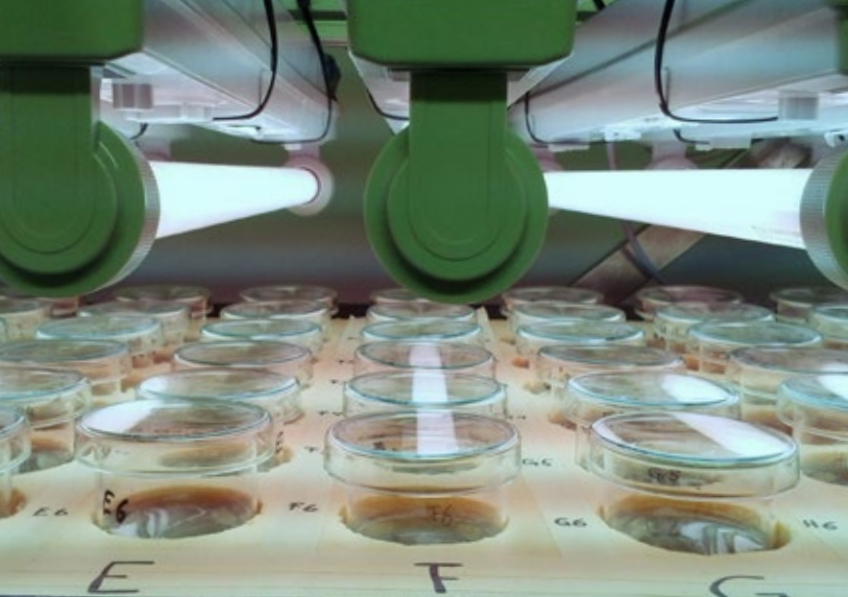


stoff und Licht. Dann schlüpfen frische Zellen und steigen an die Meeresoberfläche. Null bis sechs Grad Celsius ist ihre Lieblingstemperatur. Sie verbrauchen dann massenhaft Nährstoffe, verdoppeln dabei jeweils alle drei Tage ihre Anzahl und bilden so zusammen mit anderen Arten eine mächtige Algenblüte aus.

Doch wann die Dinos typischerweise blühen, hat sich im Kalender bereits verschoben. In den letzten 30 Jahren trat die Blüte durchschnittlich rund zehn Tage früher ein – eine deutliche Veränderung! Haben sich die Dinos also angepasst? Dies wollte ich im Vergleich mit ihren Vorfahren herausfinden.

Die Proben aus dem Boden vor Helsinki konnten wir mit Hilfe von radioaktiver Zeitbestimmung datieren, sie waren tatsächlich schon 100 Jahre alt! In dieser Zeitspanne hat sich das Wasser dort um rund 0,8 Grad erwärmt, für die Algen ein riesiger Sprung. Die 100-Jährigen haben wir vorsichtig gesäubert und für mehrere Wochen bei rund drei Grad in frischem Wasser gehalten. Immer mit der Frage: Werden die Ruhestadien aufwachen und frische Dinos schlüpfen? Es hat geklappt! Winzige lebendige Zeitzegen von 1920 schwammen in einem Becherglas. Mit einer Mikropipette saugte ich die Zellen einzeln auf und lies sie sich anschließend getrennt voneinander vermehren. Zum Vergleich nahm ich Ruhestadien von heute und unterzog sie derselben Prozedur. Anschließend beobachtete ich sie bei verschiedenen Temperaturen für mehrere Wochen.





So konnte ich zunächst einige Faktoren ausschließen: Die heutigen Dinos vermehrten sich nicht etwa schneller, sondern im selben Tempo wie die alten. Sie schlüpfen auch weiterhin bei den gleichen Wassertemperaturen wie vor 100 Jahren und fallen wie gehabt bei maximal 14 Grad ins Ruhestadium – ihr Temperaturfenster ist also gleich geblieben. Auch die Größe hat sich nicht verändert.

Doch dann entdeckte ich, dass viele der aktuellen Algen deutlich langsamer neue Ruhestadien bildeten. Während sich ein Gutteil der Alten schon bei sieben bis neun Grad einkapselte, ist diese Zahl unter den heutigen Dinos viel kleiner. Dies könnte eine Strategie sein. Das Wasser ist heute schon früher im Jahr wärmer. Wenn die Dinos nach altem Muster schon reihenweise in ihr Ruhestadium fielen, hätten sie nicht mehr genügend Zeit ihre Algenblüte auszubilden. Doch die Blüte ist auch für den eigenen Nachwuchs ganz entscheidend.

Offenbar haben die heutigen Dinos ihren Lebensrhythmus an die höheren Temperaturen angepasst. Und wir wissen jetzt: Im Sediment sind womöglich viele weitere Antworten zur Anpassung an den Klimawandel verborgen.

Dr. Jana Hinners ist Meeresbiologin und hat am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg promoviert.

STADTKLIMA: WIE LASSEN SICH PLÄTZE ZUM WOHLFÜHLEN FINDEN?

Neues Pflaster, frische Sitzbänke, ein paar Bäume – doch der große Platz bleibt meist menschenleer. Ein anderer Platz ganz in der Nähe: Hier sind die Bänke besetzt, die Leute verweilen. Woran liegt das? Es könnte an der tollen Aussicht liegen oder den historischen Fassaden – oder am „thermischen Komfort“.

Als Stadtklimaforscherin möchte ich herausfinden, wann ein Platz als angenehm temperiert empfunden wird – und welche Rolle die Architektur dabei spielt. Wenn ein Platz umgestaltet wird, dann verändern sich auch seine meteorologischen Bedingungen – und damit der thermische Komfort für die Besucherinnen und Besucher. Am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN) der Universität Hamburg haben wir ein Computermodell entwickelt, das Städte sehr genau abbildet und die Wirkung von Veränderungen schon im Voraus testen kann. So stellt das Modell zum Beispiel einen bestimmten Platz in Hamburg dreidimensional dar. Es arbeitet so fein, dass es den Wind an einer Häuserecke berechnen kann oder die Temperatur an einer Hausfassade.





Neue Gebäude, Mauern oder Bäume können im Modell hinzugefügt und deren Effekte berechnet werden.

Aber wie bewerte ich, ob sich die Effekte für den Menschen angenehm anfühlen? Dafür muss ich das Temperaturempfinden des Menschen mit seinem komplizierten Wärmehaushalt erfassen. Weltweit sind hierfür bislang 165 Indizes entwickelt worden, die ganz verschiedene Faktoren berücksichtigen. In Kanada wird zum Beispiel der Humidex viel genutzt, der sich aus Luftfeuchtigkeit und Temperatur zusammensetzt und deshalb nur bei Hitze geeignet ist. Ich dagegen suche einen Index, der eine Temperaturspanne von -5 bis +35 Grad Celsius abdeckt – damit er möglichst weltweit einsetzbar ist.

Andere Indizes sind für Arbeiten an Hochöfen oder in Bergbaustollen konzipiert, können aber nicht draußen genutzt werden, weil zum Beispiel der Einfluss der Sonneneinstrahlung fehlt. Insgesamt müssen elf Kriterien erfüllt sein, um die gefühlte Temperatur in einer Stadt mit Hilfe eines Computermodells angemessen berechnen zu können. Welche Indizes sind also geeignet? Um Klarheit zu schaffen, habe ich erstmals alle 165 systematisch geprüft.

Wichtig ist, dass der Index den Wärmehaushalt des Menschen genau abbildet: Ob uns warm oder kalt ist, hängt nämlich nicht allein von der Lufttemperatur ab. Bewegen wir uns etwa vom Schatten in die Sonne, spüren wir die Wärme sofort,

weil unser Körper die Strahlung direkt absorbiert. Die Luft kann das nicht, sie erwärmt sich eher indirekt über den aufgeheizten Boden und erwärmte Hauswände – und deshalb viel langsamer. Der Unterschied zwischen der Luft und der eigenen „gefühlten“ Temperatur kann bis zu zehn Grad ausmachen – ein starker Effekt! Daneben spielen Wind und Luftfeuchte eine Rolle, welche Kleidung wir tragen und wie wir uns bewegen. Alle diese Faktoren muss ein passender Index enthalten.

Meine Analyse hat die Zahl der geeigneten Indizes kräftig reduziert – und kann damit eine große Hilfe für Forschende sein, die zu diesem Thema arbeiten: Nur vier sind für unsere Berechnungen zum thermischen Komfort geeignet.

Unter welchen Bedingungen fühlen sich Menschen nun wohl? Für die Meteorologie gilt: Es sollten keine starken Windböen auftreten, ein leichter Luftstrom ist dagegen bei Hitze angenehm. Laubbäume sind Schattenspender im Sommer. Im Winter lassen sie dagegen mehr Sonnenstrahlung durch. Am besten ist ein Platz gestaltet, wenn er unterschiedliche thermische Bedingungen auf engem Raum bieten kann. Mit dem richtigen Index kann dies nun für Städte weltweit berechnet werden.

Dr. Jana Fischereit hat am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg im Bereich Stadtklima promoviert.

GESTRESSTE STRASSENBÄUME: LINDEN, EICHEN ODER AHORNE WERDEN KÜNFTIG FRÜHER STERBEN

Wer durch Hamburg und Umgebung streift, entdeckt eine von den Eiszeiten geformte Landschaft. Damals schoben Gletscher Geröllmengen vor sich her, die heute die Hügellandschaft nordöstlich der Stadt bilden. Schmelzwasser wusch das Urstromtal der Elbe aus und durch aufgewehte Sandablagerungen entstanden beispielsweise die Boberger Dünen.

Auf diesen eiszeitlichen Materialien und neueren Ablagerungen, die zum Beispiel im Gezeiteneinfluss der Elbe entstanden sind, haben sich rund dreißig verschiedene Bodentypen entwickelt; fast alle, die in Deutschland vorkommen. Ihre Namen haben die wenigsten je gehört: Regosol ist ein flachgründiger, kalkarmer Boden, während ein Podsol sauer und sandig ist und Gley vom Grundwasser geprägt.

Mit meinem Team untersuche ich, wie die verschiedenen Böden auf den Klimawandel reagieren und wie sich ihre Funktionen für das Ökosystem und den Menschen ändern. Stei-





gende Temperaturen und längere sommerliche Trockenperioden, wie sie für Norddeutschland prognostiziert worden sind, werden besonders die Böden austrocknen lassen, die Wasser ohnehin schlecht speichern oder leiten. Zu ihnen gehören die sandigen Standorte in der Lüneburger Heide, die – einmal ausgetrocknet – auch für Winderosion anfälliger werden. Häufigere extreme Regenfälle könnten hingegen bei wenig durchlässigen Böden wie im Hamburger Nordosten zu Staunässe führen – und zu einer Erosion durch Wasser.

Diese Veränderungen beeinflussen auch die Vegetation in der Stadt. Besonders betroffen sind die Stadtbäume. Schon heute müssen sie schwierigen Bedingungen trotzen: Einem wärmeren lokalen Klima als im Umland, höheren Schadstoffgehalten und überbauten, verdichteten Böden. Derzeit sind 60 Prozent der Hamburger Stadtfläche als Siedlungs- und Verkehrsfläche genutzt, mehr als ein Drittel ist versiegelt.

Mit meinen Kolleginnen und Kollegen habe ich Bodenproben in der Stadt entnommen und analysiert. An neun von zehn Standorten haben wir vom Menschen eingebrachte Stoffe entdeckt: Meist Sand, der nährstoffarm ist und kaum Wasser speichert, und in beinahe jeder dritten Probe auch Bauschutt, Müll, Schlacken oder Aschen. In diesen Böden können junge Bäume kaum wurzeln. Deswegen werden Straßenbäume oft in anderthalb Meter tiefe Gruben gepflanzt. Doch diese sind bald



zu klein; schließlich benötigt das Wurzelwerk eines Baumes etwa genauso viel Raum wie sein sichtbarer Teil, seine Krone. Kommt zu den ohnehin schwierigen Bedingungen der Klimawandel hinzu, werden Straßenbäume künftig nicht mehr alt. Wir schätzen, dass die heute gepflanzten mit nur 40 bis 50 Jahren eingehen werden.

Für Hamburg wäre das tragisch. Ein gut etablierter Baumbestand kann nicht mehr nachwachsen. Zudem tragen die mächtigen alten Linden, Eichen oder Ahorne zum menschlichen Wohlbefinden bei, indem sie Sauerstoff produzieren, Schatten spenden und ihre Umgebung durch Verdunstung kühlen.

Deswegen erforsche ich, wie wir für Bäume in der Stadt bessere Lebensbedingungen schaffen können. Beispielsweise brauchen wir für die Pflanzgruben geeignete Nährböden, die je nach Bedarf Wasser speichern oder ableiten können. Oder geschultes Personal, das bei Baumaßnahmen am Straßenrand auf den Boden achtgibt. Wir alle sollten lernen, Böden stärker zu schützen und zu schätzen. Sie sind die Lebensgrundlage für alle Pflanzen und viele Tiere – und keine unerschöpfliche Ressource.

Annette Eschenbach ist Professorin für Bodenschutz und Bodentechnologie und Mitglied im Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg.



KLIMABEWUSSTE LANDWIRTSCHAFT – SO WIRD SIE REALITÄT

Treibhausgase in der Landwirtschaft entstehen aus vielen verschiedenen Quellen. Trecker stoßen Kohlendioxid aus, Kühe produzieren Methan. Der in Gülle und Mist enthaltene Stickstoff ist ein guter Dünger, kann sich jedoch auch in Lachgas verwandeln: Ein Gas, das 300 Mal so klimaschädlich ist wie Kohlendioxid.

Wer Wälder rodet, Grünland in Äcker verwandelt oder den Humusanteil von Ackerböden verringert, schädigt ebenfalls das Klima. Genauso wirken sich scheinbare Kleinigkeiten aus: Wie oft eine Landwirtin oder ein Landwirt pflügt, welche Pflanzen in welcher Reihenfolge angebaut werden und ob der Boden nass oder trocken ist, wenn dieser gedüngt wird.

Deshalb hat die Regierung im Klimaschutzgesetz auch den Agrarsektor verpflichtet, Emissionen einzusparen. Das ist notwendig, denn über zehn Prozent aller Emissionen, die der Mensch verursacht, stammen aus der Landwirtschaft. Doch diese lassen sich nur mit viel Aufwand messen, daher sind Einsparungen schwer zu verwirklichen – bis jetzt. Jeder Acker, jeder Stall ist anders, jede Managemententscheidung



wirkt sich aus. Nicht einmal die Bäuerinnen und Bauern selbst überblicken die Folgen. Aber sie halten das Thema für wichtig: Das hat die erste Befragung in Deutschland ergeben. Im Rahmen unserer Forschung zu Treibhausgasen in der Landwirtschaft führte ich sie zusammen mit meinen Kolleginnen und Kollegen vom Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN) der Universität Hamburg durch.

Die meisten der 254 Teilnehmerinnen und Teilnehmer schätzten ihr Wissen in diesem Bereich als eher gering ein und wünschen sich mehr Informationen. Und: Sie sind bereit, sich für die Verminderung von Emissionen zu engagieren. Wie sehr, hat uns überrascht. 70 Prozent der Befragten gaben an, dass gesellschaftliche Anerkennung sie motivieren würde, ihre Betriebe zukünftig klimaschonender zu bewirtschaften. 40 Prozent sehen sogar Steuern auf Emissionen positiv: Wahrscheinlich weil sie alle Betriebe gleichermaßen treffen und deshalb als gerecht empfunden würden. Im Gegenzug wünschen sich die Landwirtinnen und Landwirte wirtschaftliche Vorteile, beispielsweise Subventionen oder ein Label für klimafreundliche Produkte, mit dessen Hilfe höhere Preise erzielt werden könnten.

Wichtig wäre aber auch ein Werkzeug, das zeigt, wo genau die Treibhausgase entstehen und wie sich individuelle Entscheidungen auf die Entstehung von Emissionen auswirken.





Ein solches Werkzeug müsste unkompliziert sein, leicht und schnell zu bedienen. Und genau da setzen wir an. Wir wollen Software modifizieren, die in der Landwirtschaft bereits genutzt wird – und die Emissionen mit Hilfe der Daten berechnen, die ohnehin erhoben werden. Sensoren an den Maschinen messen beispielsweise das Pflanzenwachstum und Anzeichen für die Nährstoffversorgung. Aufgrund der gewonnenen Daten dosiert die dahinter steckende Managementsoftware Düngemittel automatisch und quadratmetergenau. Durch die Integration eines Rechenmodells aus der Wissenschaft könnte die Software auch die entstehenden Treibhausgase berechnen. Am Beispiel ausgewählter Betriebe überprüfen wir das.

Unsere Zielvorstellung ist, dass zukünftig jede Landwirtin und jeder Landwirt die neue Zusatzfunktion der Software verwenden kann: Erst in Deutschland und später in ganz Europa. Damit können sie sich entscheiden, wie sie wirtschaften wollen, wo sie Emissionen reduzieren können und ob mögliche Ertragsminderungen durch einen finanziellen Ausgleich aufgefangen werden. So wird es möglich, Klimaziele für die Landwirtschaft zu formulieren, zu überprüfen und umzusetzen.

Prof. Uwe Schneider ist Agrarökonom am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg.

KÖNNEN WELTKLIMAKONFERENZEN DEN KLIMAWANDEL BREMSEN?

Nach dem Scheitern des 15. Weltklimagipfels (COP 15) in Kopenhagen 2009 standen die Verhandlungen an einem Wendepunkt. Unter großem Jubel wurde dann aber 2015 in Paris ein neues Klimaabkommen verabschiedet. Ohne Abkommen aber dennoch mit zufriedenen Gesichtern endete die COP23 2017 in Bonn. Aber woran misst sich der Erfolg der Klimakonferenzen?

Mit internationalen Kolleginnen und Kollegen habe ich 2015 die Verhandlungen der COP 21 in Paris begleitet und aus soziologischer Perspektive analysiert. Mehr als 30.000 Teilnehmerinnen und Teilnehmer, 150 Regierende bei der Eröffnungszeremonie – die Konferenz war ein Ereignis der Superlative. Unser Interesse konzentrierte sich dabei nicht nur auf das Resultat, das Klimaabkommen, sondern auch auf die Verhandlungen und die vielfältigen Veranstaltungen während der Konferenz selbst.

Die Hauptarbeit auf der Pariser Konferenz war überraschend kleinteilig: In Gruppen wurde der Text Abschnitt für Abschnitt seziert. Jeder einzelne Änderungswunsch wurde



besprochen und im Anschluss in den Text aufgenommen – oder eben nicht. Ein mühsames Unterfangen angesichts der sehr verschiedenen Interessen. Der Pariser Klimavertrag unterscheidet sich dann auch deutlich von seinem Vorgänger, dem Kyoto-Protokoll von 1997. Er definiert zunächst ein gemeinsames Ziel: Den ärmeren Ländern soll geholfen werden, sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen und die Erderwärmung soll auf unter zwei Grad Celsius begrenzt werden. Wie dieses erreicht werden soll, bleibt den Staaten allerdings selbst überlassen. Der Vertrag setzt auf Selbstverpflichtungen und regelmäßige Fortschrittsberichte. Das Kyoto-Protokoll gab dagegen genau vor, wie stark jedes Land seine Emissionen reduzieren sollte.

Doch so wichtig es auch ist – ein Abschlussdokument allein macht noch keine erfolgreiche Konferenz. Die Klimagipfel wirken auch durch den Prozess selbst: Staaten feilen am gemeinsamen Text und ringen mit Nichtregierungsorganisationen, Umwelt- und Wirtschaftsverbänden um die Deutungshoheit. Jahr für Jahr sendet so eine große Gemeinschaft ein Signal an staatliche und ökonomische Akteurinnen und Akteure und regt diese an, ihre Pläne für die Zukunft entsprechend anzupassen. Im besten Fall fördert dies klimafreundliche Entwicklungen. So haben etwa einige Staaten in Bonn angekündigt, künftig auf Kohleenergie verzichten zu wollen.

Das wichtigste Ergebnis unserer Analyse: Die Zusammenkunft Tausender aus unterschiedlichsten Bereichen, die Diskussionen und Arbeit an den Beschlüssen schaffen erst die Grundlage, um gemeinsam Probleme und mögliche Lösungen zu benennen. Klimakonferenzen vernetzen die relevanten Personen und verankern den Klimawandel im kollektiven Bewusstsein. Wir können dort die Anfänge der Entwicklung einer Weltgesellschaft beobachten.

Ist das genug? Mit Sicherheit nicht. Das Pariser Abkommen gibt einen Weg vor, beruht aber auf Freiwilligkeit. Dass dieser Weg voller Widerstände ist, lässt sich gerade in Deutschland – Stichwort Verkehrswende oder Kohleausstieg – gut beobachten. Große Veränderungen wie der Umbau der Wirtschaft hin zu Nachhaltigkeit lassen sich ganz offensichtlich nicht allein „von oben“ anordnen. Ohne kontinuierlichen Druck durch die Bevölkerung bleiben die globalen Bekenntnisse ohne Wirkung. Wenn wir den Klimawandel auf ein gerade noch erträgliches Maß begrenzen wollen, ist auch die Zivilgesellschaft gefordert.

Stefan Aykut ist Juniorprofessor für Soziologie an der Universität Hamburg. Er forscht im Exzellenzcluster Climate, Climatic Change, and Society (CLICCS) und am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit.

WENN MIT DEM KLIMAWANDEL DIE ELEFANTEN INS DORF KOMMEN

Wir hörten das Donnern schon kilometerweit entfernt. Eine Herde afrikanischer Elefanten näherte sich dem kleinen Dorf in Namibia, in dem ich während meiner Forschungsaufenthalte lebe. Normalerweise meiden Elefanten die Dörfer. Doch wir ahnten, was die Tiere an diesem Nachmittag suchten. Sie konnten es über große Distanz bei uns riechen: Wasser.

Warum überfallen Elefantenherden immer häufiger die Dörfer in der Region Kunene? Mit meinem Mitarbeiter Richard Dimba Kiaka untersuche ich als Ethnologe Fragen wie diese. Dazu leben wir regelmäßig längere Zeit unter möglichst ähnlichen Bedingungen wie die Damara-Familien der Region, ohne fließendes Wasser und Strom, in einfachen Hütten. Die Sprache meiner Nachbarinnen und Nachbarn, die ich mittlerweile relativ gut verstehen und sprechen kann, enthält die typischen Klicklaute.

Die Menschen leben meist von der Viehzucht, sie halten Ziegen und Rinder. Für ihre Tiere legen sie große Wasserreservoirs an – die Elefanten in Not magnetisch anziehen können. Namibia liegt ganz im Süden des Kontinents und ist





eines der trockensten Länder Afrikas. Es regnet viele Monate lang keinen einzigen Tropfen. Nur rund 60 Tage im Jahr fällt überhaupt Niederschlag, in Hamburg sind es dagegen durchschnittlich 180 Tage. Die Elefanten sind das aber eigentlich gewohnt. Sie graben in ausgetrockneten Flussbetten bis zu einen Meter tief und gelangen so an versickertes Wasser.

Doch in den letzten Jahren ist der Grundwasserspiegel gesunken. Die Elefanten finden nicht mehr ausreichend Wasser. Hinzu kam von 2013 bis 2017 eine ungewöhnlich lange Dürre, die das Wasser weiter verknappte. Notgedrungen gehen die Tiere nun in die Dörfer. Wie auch an jenem Nachmittag, an dem wir uns nur noch in den Hütten verschanzen konnten. Wir hörten die Wucht der Zerstörung, bis die Herde nach einigen Stunden wieder abzog. Sie hatten das große Wasserreservoir eingerissen, weil die Rüssel ihrer Babys nicht über deren Rand reichen. Pumpen und Tränken, Wasserkanister und Gemüsegärten waren zerstört – die komplette Infrastruktur des Dorfes beschädigt.

Ist der Klimawandel schuld, dass die Überfälle zunehmen? Das würde zu den Prognosen des Weltklimarats IPCC passen. Demnach wird Afrika als Kontinent am stärksten von Klimaveränderungen betroffen sein. Die mittleren Temperaturen werden hier stärker als im Rest der Welt ansteigen. Die Niederschläge könnten in Zentralafrika etwas zunehmen, in



Nord- und Südafrika jedoch noch weiter abnehmen. Doch das ist nur das halbe Bild.

Elefanten gelten weltweit als stark gefährdet. Um 1900 wurde ihr Bestand auf mehrere Millionen Tiere geschätzt, heute ist es nur noch ein Bruchteil davon. Ganz anders in der Region Kunene: Die Zahl der Tiere hat sich in den letzten 20 Jahren verdoppelt – eine gute Nachricht für den Artenschutz! Die Regierung hatte Naturschutzgebiete eingerichtet, in denen sich die Elefanten geschützt vor Wilderern in Ruhe vermehren konnten. Die exotischen Tiere locken viele Touristinnen und Touristen an, die Branche boomt. Doch das Geld fließt hauptsächlich in Unternehmen in der Hauptstadt Windhoek. Der Staat profitiert von den Steuereinnahmen, die ländliche Bevölkerung dagegen kaum.

Als Gegenmaßnahme könnte der Staat zum Beispiel den Tourismus stärker besteuern, um damit die Schäden der lokalen Bevölkerung auszugleichen. Dies wäre ein erster Schritt, damit Naturschutz in Zeiten des Klimawandels die vorhandenen Ungleichheiten nicht noch verstärkt.

Prof. Michael Schnegg ist Ethnologe und untersucht im Klima-Exzellenzcluster CLICCS an der Universität Hamburg den Einfluss des Klimawandels auf ländliche Regionen Afrikas.

SUCHE NACH ATOMMÜLLLAGERN: WARUM DIE NÄCHSTE EISZEIT EINE ROLLE SPIELT

Wohin mit Atommüll, der länger als eine Million Jahre strahlt? Einige Expertinnen und Experten befürworten die Einlagerung des radioaktiven Mülls in Salzstöcken. Salz bietet besondere Eigenschaften: Unter hohem Druck verformt es sich fast fließend – selbst bei heftigen Bodenbewegungen würde so der eingelagerte Müll sanft und allmählich eingeschlossen.

So die Theorie – doch eine Sicherheitsgarantie gibt es nicht. Der Blick in die Erdgeschichte zeigt, dass die Bewegungen in der Erdkruste enorme Auswirkungen auf die Salzlagerstätten haben. Diese untersuche ich und kann so prüfen, wie das umliegende Gestein aufgebaut ist und welche Prozesse die mächtigen Schichten gebildet und verformt haben.

Das erforsche ich auch zusammen mit meinen Studierenden. Seit 2001 fährt jedes Jahr eine Gruppe Geophysik-Studierender auf die Ostsee und untersucht die Erdkruste unterhalb des Meeresgrundes. Aus den Messdaten erstellen wir Quer-

schnittsbilder, die uns die Schichtung des Untergrundes und Bereiche mit Rissen, Brüchen und Verformungen zeigen. Bisher nahmen wir an, dass die Störungen und Brüche im Gestein durch die viele Millionen Jahre zurückliegenden Kollisionen der Erdplatten entstanden und geologisch sehr alt sind.

Eines Tages stutzte ich jedoch, als ich mir die Messdaten der Studierenden ansah. Gemeinsam mit meinem Doktoranden Mu'ayyad Al Hseinat warf ich einen genauen Blick auf die Querschnittspläne. Die obersten und damit jüngeren ein bis zwei Kilometer, also die Schichten, in denen die meisten Salzstöcke lagern, schienen durch andere Prozesse geprägt worden zu sein, denn die dortigen Störungen passten nicht mit den Erdplattenbewegungen dieser Zeit zusammen. Welche Kräfte waren da am Werk?

Wir machten schnell Pläne für weitere Untersuchungen und kurze Zeit später fuhren wir mit dem Forschungsschiff Maria S. Merian auf die Ostsee. Hinter dem Schiff zogen wir einen drei Kilometer langen Schlauch mit Messgeräten her. Diese zeichneten Schallwellen auf, die wir in den Untergrund geschickt hatten. Denn Schichtgrenzen, Brüche und Risse reflektieren die Wellen zurück an die Oberfläche. So bekamen wir ein sehr genaues Bild. Nach der Analyse unserer Ergebnisse waren wir uns sicher: In den vergangenen 400.000 Jahren hatten die von Skandinavien kommenden Gletscher der Eis-





zeiten die oberen ein bis zwei Kilometer der Erdkruste wie einen riesigen Teig durchgewalkt – und somit das Ostseebecken und die Norddeutsche Tiefebene massiv verformt und gestört. Gesteinsschichten verschoben sich gegeneinander, Sedimente wanderten im Eis, Becken und Hügel formten sich. Die Nachwirkungen spüren wir noch heute: So hebt sich beispielsweise der Norden Skandinaviens seit dem Abschmelzen der letzten großen Gletscher noch immer an, da die Last des Eises fehlt.

Das hat auch Einfluss auf die älteren Erdschichten, die im Laufe der Jahrtausende teilweise nach oben gedrückt wurden – wie die vielen Salzstöcke Norddeutschlands. Deshalb nehmen wir an, dass eine weitere Vereisung Norddeutschlands auch große Veränderungen an den Salzstöcken bewirken würde.

Denn in den nächsten 100.000 Jahren werden Norddeutschland und der Ostseeraum überhaupt nur für wenige 10.000 Jahre eisfrei sein. Daher ist es wichtig, die Prozesse zu verstehen, welche das Gewicht des Eises in der Erdkruste auslöst. Vor allem, wenn Salzstöcke im Hinblick auf die Lagerung von radioaktivem Abfall untersucht werden und Sicherheit für eine Million Jahre gewährleisten sollen.

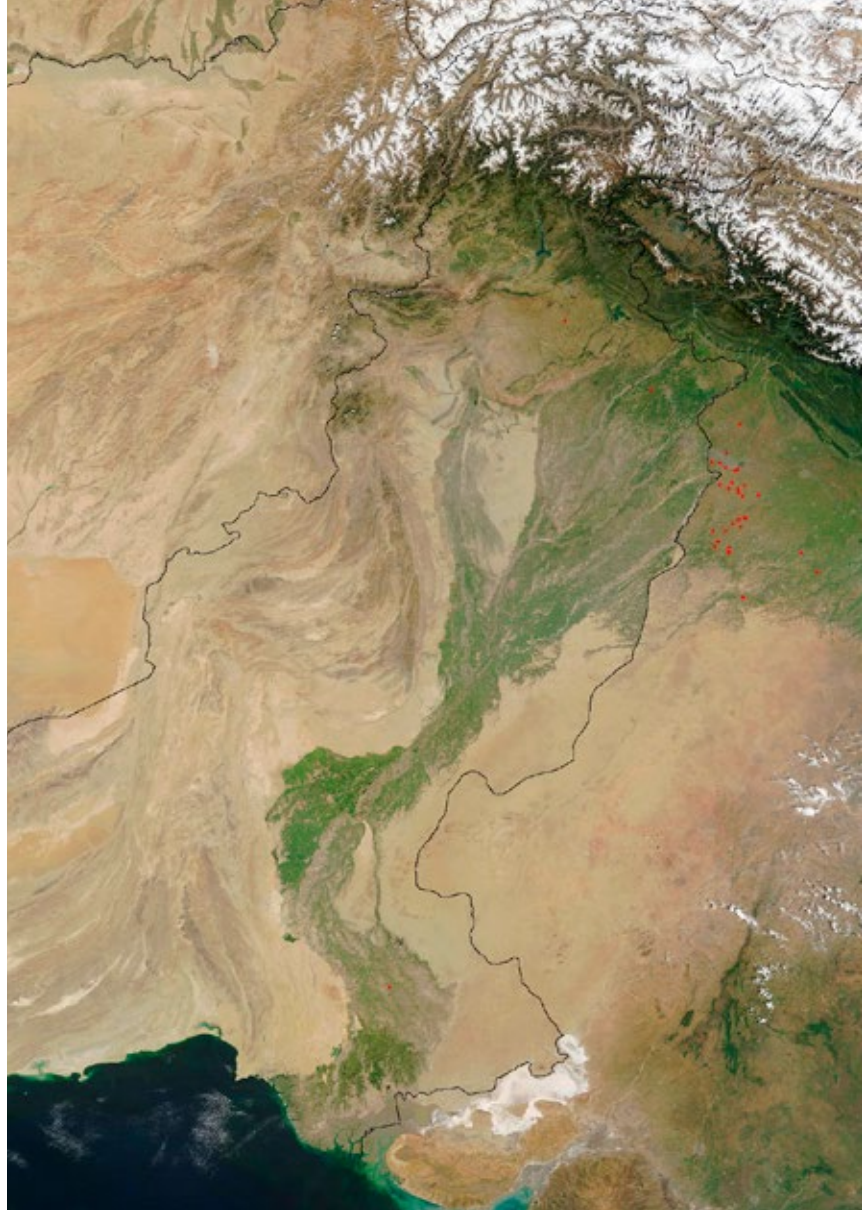
Christian Hübscher ist Professor für Geophysik am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg.

WETTERVORHERSAGE FÜR PAKISTANISCHE BAUERN

In Pakistan versorgt ein ausgeklügeltes Bewässerungssystem die grünen und üppigen Flächen der Indus-Ebene mit Wasser aus dem Himalaja. Es ist mit über 60.000 Kilometern eines der längsten der Welt. Denn Landwirtschaft ist hier eine der wichtigsten Einkommensquellen und Lebensgrundlage zugleich.

In der Wintersaison gedeihen Getreide und Hülsenfrüchte. Sie werden im November gesät und von April bis Mai geerntet. Baumwolle und Zuckerrohr hingegen wachsen in der Sommersaison, die vom Monsun geprägt ist. Doch die Grenzen zwischen den Jahreszeiten verwischen immer mehr, so dass sich die Saat- und Erntetermine verschieben. Doch das sind nicht die einzigen Veränderungen durch den Klimawandel.

In Pakistan besitzen 80 Prozent der Landwirtinnen und Landwirte weniger als zwei Hektar Land. Sie leiden zunehmend unter Dürren, Überschwemmungen, Stürmen und extremen Temperaturen – und haben immer häufiger mit Schädlingen und Krankheiten zu kämpfen. Durch eine Flutkatastrophe im Jahre 2010 verloren viele ihre Ernte oder sogar ihr Land. Am





Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN) der Universität Hamburg untersuche ich, welche Regionen besonders gefährdet sind und wie sich die Bäuerinnen und Bauern an die Änderungen anpassen können. Dazu befragte ich 450 landwirtschaftliche Haushalte in der Provinz Punjab. Diese bevölkerungsreiche Provinz gilt aufgrund der fruchtbaren Bedingungen auch als die Kornkammer des Landes.

Zunächst interessierte mich, wie die Bäuerinnen und Bauern die Klimaänderungen und die dadurch auftretenden Risiken wahrnehmen. Hatten sie in den letzten zehn bis 20 Jahren Änderungen im Niederschlag oder bei den Wachstumsperioden beobachtet? Welche Schäden sind konkret aufgetreten, hatten sie zum Beispiel weniger Ernte durch Erosion des Bodens, durch Schädlinge oder Pflanzenkrankheiten? Und wie gefährdet sehen sie ihre eigene Existenz? Ich ermittelte, in welchem Rahmen die Klimarisiken bereits selbst bewältigt werden, welche Faktoren die Anpassung behindern und ob lokale Regierungen Unterstützung leisten.

Die Ergebnisse spiegeln zunächst deutlich die vorherrschenden Umweltbedingungen wider, die Verfügbarkeit von Ressourcen wie Wasser und fruchtbarem Boden und die Verbreitung von Armut. So wurden im Westen der Provinz vor allem Insektenplagen, Krankheiten bei Tieren und Menschen und Bodenerosion genannt. Dies stimmt mit den Klimaauf-

zeichnungen der vergangenen 30 Jahre gut überein: Mehr Niederschläge und zwei große Flutereignisse, die fruchtbaren Boden von den Äckern spülten, bieten gleichzeitig günstige Bedingungen für Krankheitserreger. Im Zentrum und Norden Punjab, wo laut Aufzeichnungen die Temperaturen gestiegen sind und deutlich weniger Regen fiel, klagten die Menschen dagegen hauptsächlich über Dürren und weniger Ernte.

Der Klimawandel selbst ist rund zwei Dritteln der Befragten bewusst. Etwa die Hälfte versucht bereits, ihr Saatgut sowie die Termine für Aussaat und Ernte daran anzupassen. Das gelingt jedoch nicht allen. Viele wandern in die Städte ab und suchen dort nach Arbeit, oft vergeblich. Bekämen sie bei der Anpassung Hilfe, würden viele Bäuerinnen und Bauern auf ihrem Land bleiben, dies zeigen meine Ergebnisse deutlich. So fehlt es vor allem an konkreten Angeboten und Kommunikationswegen. Hier könnten die lokalen Regierungen nachrüsten – und so die Landflucht stoppen. Regionale Wettervorhersagen und Frühwarnsysteme für extreme Ereignisse allen zugänglich zu machen, wäre ein erster wichtiger Schritt.

Dr. Muhammad Abid hat am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg promoviert und arbeitet als Agrarökonom an der Universität von Islamabad (Pakistan).

NORDSEE NIMMT DOPPELT SO VIEL CO₂ AUF WIE VERMUTET

Gegen den Klimawandel hat der Mensch bislang einen mächtigen Verbündeten: die Meere. Wenn wir durch Industrie und Verkehr Treibhausgase in die Atmosphäre pusten, nehmen die Ozeane weltweit ein Drittel davon auf und bremsen deren Wirkung. Damit puffern sie einen großen Teil des Klimawandels ab. Doch die Meere zahlen auch einen Preis, sie versauern. Dies passiert auch vor unserer Haustür, in der Nordsee.

Meine Kollegin Maybritt Meyer und ich wollen abschätzen, wie viel Kohlendioxid (CO₂) die Nordsee in einem Jahr aufnimmt. Dafür brauchen wir vor allem zwei Informationen. Zum einen, wie hoch der Anteil des CO₂ in der Luft ist im Vergleich zum Wasser. Sind die Anteile gleich, bleibt alles, wie es ist. Je größer jedoch der Unterschied – zum Beispiel: viel Kohlendioxid in der Atmosphäre und wenig im Wasser – desto höher ist der „Druck“ für das CO₂, sich im Wasser zu lösen. Ein internationales Team hat diese Daten während mehrerer Ausfahrten gemessen. Gleichzeitig spielt der Wind eine wichtige Rolle, ihn haben wir genauer unter die Lupe genommen. Je stärker



er bläst und die Wasseroberfläche aufwirbelt, desto größer ist der Austausch mit der Atmosphäre. Das Meer wird wie durch einen Quirl gemixt und CO₂ kann effektiv aufgenommen werden. Umfassende Messdaten von allen Punkten der Nordsee gibt es allerdings nicht. Wie kann also der Wind in die Rechnung einbezogen werden?

Bisher nutzten wir dazu Modell-Datensätze, die weltweit und relativ grobmaschig die Windstärke jeweils nur einmal pro 100 Kilometer Gitterbreite erfassen. Mit ihrer Hilfe berechneten wir, wie schnell oder langsam das Wasser Kohlendioxid aufnehmen kann. Doch gerade an den Küsten ist der Wind besonders wechselhaft, so dass die grobmaschigen Daten kaum die Realität abbilden.

Unsere Partnerinnen und Partner vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht untersuchen die Küsten mit feineren Rechenmodellen. Mit dem sogenannten Downscaling – einer komplexen Rechensimulation – können für Regionen mit wenigen Daten die Datenlücken sinnvoll geschlossen werden. Das Zentrum errechnete für uns einen neuen Wind-Datensatz mit einer Auflösung von fünf bis zehn Kilometern Gitterbreite für die gesamte Nordsee. Diese Daten verglichen wir mit Messdaten von vier Stationen – zwei nah an der Küste, zwei auf Bohrplattformen im offenen Meer. Die Ergebnisse zeigen: Der Wind an den Küsten wurde tatsächlich bisher stark unterschätzt! Die feineren Daten bilden

ihn viel genauer ab. Für das offene Meer hingegen stimmen die Messdaten gut mit den älteren Winddaten überein.

Wir errechneten die CO₂-Bilanz erneut und waren erstaunt: An den Küsten wird mehr als doppelt so viel Kohlendioxid aufgenommen wie bisher vermutet! Die ganze Nordsee hat in einem Jahr insgesamt 34 Prozent mehr vom Treibhausgas geschluckt als bisher angenommen.

Doch was bedeutet das? Wir wissen nicht, wann der marine Kohlendioxidspeicher voll sein könnte. Doch je mehr CO₂ ein Meer aufnimmt, desto saurer wird es. In der Nordsee ist die Versauerung in vollem Gang, die Änderung des pH-Werts im Wasser kann Lebewesen und Pflanzen beeinträchtigen. Sie müssen ihren Stoffwechsel anpassen, Muscheln und Krebse können Probleme bekommen, ihre Kalkschalen zu bilden.

So können wir mit verfeinerten Methoden immer genauere Prognosen abgeben, viele zeigen die drastischen Folgen unseres Handelns. Ich möchte deshalb die Bundesregierung aufrufen, die vereinbarten Klimaziele des Abkommens von Paris 2015 einzuhalten und den Ausstoß von Treibhausgasen jetzt effektiv zu drosseln.

Dr. Johannes Pätsch ist Informatiker und Experte für die Nordsee am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg.

WENN DIE TAIGA VOR DER TUNDRA REISSAUS NIMMT

Ähnlich wie im Kino-Film Herr der Ringe machen sich Bäume bisweilen tatsächlich auf den Weg in weit entfernte Gegenden. Tropischer Regenwald, immergrüne Nadelwälder oder baumlose Steppe: Die Vegetationszonen auf unserem Planeten befinden sich in stetigem Wandel.

Zum Ende der letzten Kaltzeit, vor gut 11.000 Jahren, war die Sahara deutlich grüner als heute und Norddeutschland eine Tundra, eine offene Landschaft aus Moosen, Gräsern und Zwergsträuchern. Wenn Pflanzen wandern, hat dies fast immer etwas mit dem Klima zu tun. Es ist entweder zu heiß oder zu kalt, zu trocken oder zu nass. Die Pflanzen können dann in ihrem ursprünglichen Siedlungsgebiet nicht mehr leben und „bewegen“ sich, zugegeben recht langsam – über mehrere Jahrhunderte, in angrenzende Gebiete. So dokumentieren die Pflanzen die Geschichte des Klimas.

Mit einem internationalen Forschungsteam habe ich an der Universität Hamburg und am Max-Planck-Institut für Meteorologie untersucht, wie sich vergangene Klimaänderungen

auf die Vegetation in Asien auswirkten. Vom mittleren Holozän vor rund 6.000 Jahren bis zur Industrialisierung war das Klima ungewöhnlich stabil. Weil sich die Laufbahn der Erde um die Sonne änderte, was in regelmäßigen Zyklen geschieht, kühlten sich viele Erdregionen in diesem Zeitraum lediglich leicht ab.

Um die Veränderung der Vegetation zu untersuchen, haben wir fünf unterschiedliche Klimamodelle genutzt. In diese haben wir die veränderte Einstrahlung der Sonne auf die Erde und einen leichten Anstieg der Kohlendioxid-Emissionen eingegeben. Ein Klimamodell beschreibt Vorgänge auf der Erde wie Wolkenbildung, Meeresströmungen, Verdunstung, Eisschmelze oder Stürme mit den Gesetzen der Physik und kann so vorhersagen, wie sich das Klima entwickelt. Mit den Ergebnissen haben wir ein Vegetationsmodell gefüttert. Das Modell berechnet, wie sich Pflanzen auf der Erde ausbreiten.

Niederschlag und Temperatur beeinflussen das Pflanzenwachstum maßgeblich, aber es kommen noch andere Prozesse hinzu: Ein höherer Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre regt das Wachstum der Pflanzen an, Wirbelstürme und Feuer verwüsten Wälder, ganze Pflanzengesellschaften wandern und verdrängen die alteingesessenen Arten. Dabei kann es zu Rückkopplungen mit dem Klima kommen.

Ein Beispiel: Wird es in den nördlichen Breiten kälter, schiebt die baumlose Tundra die großen Nadelwälder – die

Taiga – nach Süden. Weil der Schnee durch die Äste nach unten rieselt, bleiben die Nadelwälder auch in schneereichen Monaten dunkel. So nehmen sie mehr Sonnenlicht auf und erwärmen sich. Die baumlose Tundra ist hingegen viele Monate vollständig von Schnee bedeckt und strahlt die Wärme der Sonne zurück ins All, die Temperaturen sinken weiter.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass sich die Tundra in Asien während des Untersuchungszeitraumes bis zu 500 Kilometer nach Süden verlagert hat, weil sich das Klima in den hohen nördlichen Breiten abkühlte. In der Übergangszone von Wald, Steppe und Wüste im nördlichen China und der Mongolei ist das Klima trockener geworden und die Wüste Gobi hat sich in den letzten 6.000 Jahren nach Osten ausgedehnt, Steppe und Wald wurden verdrängt.

Sprunghafte Änderungen der Vegetation konnten wir in Asien nicht feststellen. Die Wanderung der Pflanzen erfolgte gleichlaufend mit den Klimaänderungen, die durch die sich stets verändernde Laufbahn der Erde um die Sonne entstanden. Die Ergebnisse machen deutlich, wie empfindlich die Vegetation selbst auf geringfügige Klimaschwankungen reagiert.

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



Bildnachweis

©Jörn Hustedt/HUSTEDTnetwork (Titel), ©iStock.com/Philip Richter (Titel innen), ©NASA Observatory/Joshua Stevens and Lauren Dauphin (S. 5), ©Anke Kremp (S. 7), ©Jana Hinners (S. 8 o.), ©Jana Hinners (S. 8 u.), ©iStock.com/Nikada (S. 11 o.), ©Luisa Vallon Fumi/Dreamstime.com (S. 11 u.), ©iStock.com/benedek (S. 12/13), ©Annette Eschenbach/Universität Hamburg (S. 17), ©picture alliance/Daniel Karmann (S. 18 o.), ©iStock.com/majorosl (S. 18 u.), ©iStock.com/tttuna (S. 23), ©picture alliance/Guido Kirchner (S. 25), ©Gregorsdad/shutterstock.com (S. 27 o.), ©iStock.com/filmfoto (S. 27 u.), ©iStock.com/SOPHIE-CARON (S. 28), ©Presidencia de la República Mexicana/ <https://www.flickr.com/photos/presidenciamx/23430273715/> (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>) (S. 31 o.), ©OsvaldoGago/ (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greenpeace_Climate_March_2015_Madrid.jpg), „Greenpeace Climate March 2015 Madrid“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode> (S. 31 u.), ©iStock.com/Eisenlohr (S. 35 o.), ©iStock.com/johan63 (S. 35 u.), ©iStock.com/JohnCarnemolla (S. 36), ©Michael Schnegg/Universität Hamburg (S. 39 o.), ©Michael Schnegg/Universität Hamburg (S. 39 u.), ©Jonas Preine/Universität Hamburg (S. 44 o.), ©Jonas Preine/Universität Hamburg (S. 44 u.), ©Jacques Desclotres/MODIS Rapid Response Team/NASA/GSFC (S. 47), ©picture alliance/Matiullah Achakzai (S. 48/49), ©Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) (S. 53), ©iStock.com/Dmitry_Chulov (S. 59 o.), ©iStock.com/TT (S. 59 u.)

Herausgeber

Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN),
Universität Hamburg
www.cen.uni-hamburg.de

Redaktion

Julika Doerffer, Veit Ebermann, Stephanie Janssen, Christina Krätzig,
Ute Kreis, Franziska Neigenfind
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN)

Gestaltung

HAAGEN design, Hamburg

Auflage: 3.000

Hamburg, 2020

mit freundlicher Unterstützung des Hamburger Abendblatts