



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

CENTRUM

FÜR ERDSYSTEMFORSCHUNG
UND NACHHALTIGKEIT (CEN)

WIE UNTERNEHMEN DAS KLIMA WIRKUNGSVOLL SCHÜTZEN KÖNNEN

ZEHN KLIMAFORSCHER:INNEN BERICHTEN





WIE UNTERNEHMEN DAS KLIMA WIRKUNGSVOLL SCHÜTZEN KÖNNEN

ZEHN KLIMAFORSCHER:INNEN BERICHTEN

Ein Lesebuch der Hamburger Klimaforschung

INHALT

- 4 MOORE
- 10 KRISENPOLITIK
- 18 UNTERNEHMEN
- 22 MIGRATION
- 28 CLIMATE ENGINEERING
- 34 VERSAUERUNG
- 40 ALTES WISSEN
- 45 TERRASSENFELDER
- 50 HAFENSEDIMENTE
- 56 CO₂-STEUER

NEUE KLIMAGESCHICHTEN AUS HAMBURG

Die Wirtschaft gehört zu den größten CO₂-Produzenten – und ist damit eine enorme Belastung für das Klima und die Umwelt. Was also müssen Unternehmen ändern, um klimaneutral zu wirtschaften? Diese und andere Fragen rund um den Klimawandel untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN) der Universität Hamburg.

Erfahren Sie außerdem, wieso feuchte Moore gut für unser Klima sind, wie Gesteinsmehl CO₂ aus der Atmosphäre zieht und warum Indigenes Wissen für den Klimaschutz enorm wichtig ist.

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

Viel Spaß beim Lesen!

TROCKENE MOORE VERNÄSSEN LOHNT SICH!

Moore bedecken drei Prozent der globalen Landfläche, in ihnen ist aber doppelt so viel Kohlenstoff wie in allen Wäldern weltweit gespeichert. Doch wird der Torf abgebaut und die Moorböden trockengelegt, können sie sich zu einer regelrechten Kohlendioxid-Schleuder entwickeln.

In Deutschland nahmen natürliche Moore einst eine Fläche so groß wie Schleswig-Holstein und Hamburg ein. Vielerorts wurde der Torf jedoch zum Heizen abgebaut und ganze Moore entwässert, um Flächen für die Land- und Forstwirtschaft zu gewinnen. Noch heute ist Torf ein begehrter Rohstoff für den Gartenbau und so sind im gesamten Bundesgebiet nur noch etwa ein Prozent der ursprünglichen Moore intakt. Wäre es nicht ein großer Schritt Richtung Klimaschutz, wenn wir Moore wieder in einen naturnahen Zustand zurückversetzen, also renaturieren würden?

Im Himmelmoor, nördlich von Hamburg, erforsche ich mit meinen Kolleginnen und Kollegen wie sich der Ausstoß von Treibhausgasen aus dem Torfboden verändert, wenn ein Moor



renaturiert wird. Bereits seit den 1980er Jahren werden Teile des Himmelmoores schrittweise wiedervernässt.

In solch einem nassen Torfboden bleiben Pflanzenreste weitgehend erhalten, denn die Zersetzung durch Kleinstlebewesen ist gehemmt. Dadurch wird der in den Pflanzen gespeicherte Kohlenstoff im Boden größtenteils konserviert. Es sind jedoch andere Mikroorganismen am Werk, die das Treibhausgas Methan produzieren. Methan auszustoßen ist für natürliche Moore völlig normal. Der Methanausstoß versiegt jedoch, sobald ein Moor entwässert ist. Für das Klima ist das grundsätzlich erst einmal positiv. Doch in den trockenen Boden kann jetzt Sauerstoff eindringen und der gespeicherte Kohlenstoff wird nun in Kohlendioxid (CO_2) umgewandelt.

Einerseits entweicht also Methan aus einem nassen Torfboden. Andererseits gibt der Boden Kohlendioxid ab, sobald er entwässert wird. Uns interessiert, welche Mengen dieser Gase jeweils freigesetzt werden. Ist ein nasser oder ein trockener Torfboden klimafreundlicher?

Im Himmelmoor finden wir beste Bedingungen, um das zu vergleichen. Für unsere Untersuchungen haben wir eine 1,4 Quadratkilometer große Fläche im Zentrum des Moores ausgewählt. Zur Hälfte ist der Boden dort bereits wiedervernässt. Zwischen beiden Flächen bauten wir einen sechs Meter hohen Turm mit Messgeräten auf. Über zwei Jahre zeichne-





ten die Geräte auf, wie viel CO₂ und wie viel Methan aus dem Boden in die Luft entweicht. So konnten wir einen direkten Vergleich zwischen vernässter und entwässerter Fläche ziehen. Die Daten zeigen uns deutlich: Sobald der Wasserstand angehoben wird, wird bis zu 40 Prozent weniger CO₂ freigesetzt. Gleichzeitig steigen jedoch die Methanemissionen – um bis zu 80 Prozent. Doch obwohl Methan viel klimaschädlicher wirkt als CO₂, war die Treibhausgas-Bilanz der renaturierten Fläche schon im zweiten Jahr positiver als auf der genutzten Vergleichsfläche – denn die CO₂-Emissionen sind weiter gesunken.

Allerdings setzt das Himmelmoor insgesamt weiterhin viele Treibhausgase frei. Doch meine Messungen belegen, dass sich erhebliche Mengen an CO₂-Emissionen einsparen lassen, wenn Moore renaturiert werden. Sollen diese effektive Kohlenstoffsenken werden, kann das jedoch viele Jahrzehnte dauern.

Dr. David Holl ist Bodenkundler und Moorexperte am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg.

WISSENSCHAFT UND POLITIK IM KRISEN-MODUS

In der Coronavirus-Pandemie wurde keine politische Entscheidung ohne die Einschätzung von Epidemiologen und Virologinnen getroffen. Warum findet die Wissenschaft nicht auch bei anderen Themen so viel Gehör?

Obwohl die Klimaforschung seit Jahrzehnten darauf hinweist, dass vom Menschen verursachte Treibhausgase die Existenz von Mensch und Natur beeinflussen, sind bislang kaum Kohlendioxid-Einsparungen zu beobachten. Im Gegenteil, in den vergangenen 25 Jahren nahm der globale Ausstoß deutlich zu.

Was sagt das über das Verhältnis von Wissenschaft und Politik aus? Als Wissenschaftssoziologin untersuche ich, welche Rolle wissenschaftliches Wissen in politischen Entscheidungen und öffentlichen Debatten spielt.

Dabei arbeite ich mit einem soziologischen Modell, das die Gesellschaft je nach Funktion in verschiedene Bereiche unterteilt. Ein Bereich ist die Politik, deren Aufgabe es ist, für alle bindende Entscheidungen zu treffen. Ein anderer die Massenmedien, die für eine gemeinsam geteilte Hintergrundrealität sorgen. Die Wissenschaft gewinnt neue Erkenntnisse und ist





der anerkannte Faktenlieferant unserer Zeit. Dies gilt, obwohl ihr Wissen gerade bei neuen und politiknahen Themen unsicher und der Sachstand wie im Corona-Fall unter den Forschenden kontrovers diskutiert wurde.

Alle Bereiche sind dabei aufeinander angewiesen. Vereinfacht gesagt, gäbe es ohne das Geld aus der Wirtschaft keine Wissenschaft und Politik, ohne die Entscheidungen der Politik keine Wirtschaft und keine Wissenschaft und ohne Ereignisse in allen gesellschaftlichen Bereichen keine Nachrichten für die Medien. Hinzu kommen Differenzen innerhalb der einzelnen Bereiche: „Die“ Wissenschaft oder „die“ Wirtschaft gibt es nicht. Nicht einmal innerhalb der einzelnen Disziplinen oder Branchen sind sich alle einig.

Was heißt das für Klimaschutzmaßnahmen wie die Einsparung von CO₂? Dies könnte durch den Ausbau erneuerbarer Energien umgesetzt werden. Firmen für Photovoltaikanlagen begrüßen einen solchen Schritt wahrscheinlich, während Bergbau-Unternehmen ihn ablehnen. Physikerinnen und Geologen befürworten vielleicht den Bau von Windrädern und Stauseen, Biologinnen mahnen die negativen Folgen für die Biodiversität an und Sozialwissenschaftlerinnen erinnern an den möglichen Verlust von Arbeitsplätzen. Und manch ein Physiker stellt die Frage, ob CO₂-Einsparungen nicht viel eher durch eine Rückkehr zur Kernenergie erreicht werden können.

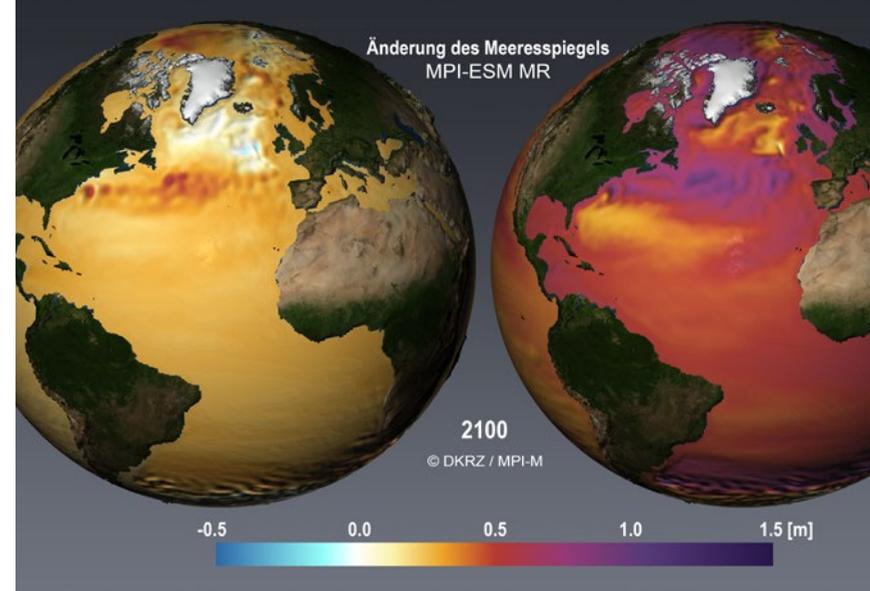


Die Wissenschaft liefert also Argumente, die aber mit denen der anderen gesellschaftlichen Bereiche konkurrieren. Sie zu bewerten und danach zu entscheiden ist Aufgabe der Politik. Jede politische Entscheidung ist somit das Ergebnis eines Prozesses, in dem Argumente abgewogen werden.

Es gibt verschiedene Institutionen, die bestimmten Bereichen mehr Gehör verschaffen. Für die Wirtschaft sind dies unterschiedliche Lobbyverbände. Für die Wissenschaft leistet zum Beispiel der Weltklimarat Lobbyarbeit. Er veröffentlicht regelmäßig Berichte, die den Stand der Klimaforschung zusammenfassen. Damit bietet er der Politik die wissenschaftlichen Grundlagen, um fundierte Entscheidungen zu treffen.

Doch während der Corona-Pandemie fand die Wissenschaft auch ohne Lobbyarbeit Gehör. Dies lag vor allem an der Dringlichkeit. Im Gegensatz zum Klimawandel wurde das Coronavirus als unmittelbare und persönliche Bedrohung wahrgenommen. Was passierte, passierte direkt – und mitten in der Amtszeit der Verantwortlichen. Dagegen werden die meisten Menschen, die heute klimapolitische Entscheidungen treffen, deren massivste Auswirkungen wohl nicht mehr miterleben.

Prof. Simone Rödder forscht im Fachbereich Sozialwissenschaften der Universität Hamburg und im Exzellenzcluster CLICCS.





Nations Unies
Conférence sur les Changements Climatiques 2015

COP21/CMP11

Paris, France



WIE UNTERNEHMEN DAS KLIMA WIRKUNGSVOLL SCHÜTZEN KÖNNEN

Im Pariser Klimaabkommen hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, die Erderwärmung bis Ende des Jahrhunderts deutlich unter zwei Grad und möglichst unter 1,5 Grad zu halten. Um das zu erreichen, haben viele Länder mittlerweile Klimaschutzpläne auf den Weg gebracht.

Da aber Unternehmen den Löwenanteil der Treibhausgase verursachen, muss insbesondere die Wirtschaft einen beträchtlichen Beitrag leisten, um den Klimawandel in Grenzen zu halten. Viele Unternehmen sind sich ihrer Verantwortung bewusst und möchten in Zukunft klimaneutral wirtschaften – doch wie können sie das in der Praxis schaffen? Diese Frage erforsche ich in meiner Doktorarbeit.

Der erste Schritt auf dem Weg zu einer klimaneutralen Wirtschaftsweise sind wirkungsvolle Klimaziele. Dazu muss das globale Klimaziel zunächst auf die Unternehmensebene übersetzt werden. Dieser Schritt ist für Unternehmen aber häufig eine große Hürde, weil sie nicht wissen, wie passende Ziele entwickelt werden können. Also orientieren sie sich dar-



an, was ihnen an Emissionseinsparungen möglich erscheint. Ob diese Klimaziele dann auch ambitioniert genug ausfallen, um das Klima zu schützen, bleibt ungewiss.

Wie also kann die Wissenschaft Unternehmen dabei unterstützen, diese Hürde zu überwinden? Um diese Frage zu beantworten, habe ich vier gängige Methoden untersucht, die auf wissenschaftlich fundierten Klimaszenarien basieren und mit deren Hilfe sich berechnen lässt, welchen Beitrag jedes einzelne Unternehmen zur Erreichung des globalen Klimaziels leisten muss. Dazu habe ich Rechenmodelle mit Unternehmensdaten gefüttert und die Methoden verglichen. Die Analyse zeigt, dass drei der vier Methoden für Unternehmen mit einem breiten Produktportfolio – und somit für die meisten Wirtschaftssektoren, wie den Handel oder den Chemie-sektor – ungeeignet sind, weil sie in der Anwendung beispielsweise nicht flexibel genug oder zu kompliziert sind. Mein Fazit: Letztlich eignet sich für die meisten Unternehmen nur eine Methode. Diese ist vergleichsweise simpel in der Anwendung: Eine pauschale Reduktionsrate legt dabei fest, in welchem Umfang und in welcher Geschwindigkeit jedes einzelne Unternehmen seine Emissionen senken muss.

Konkret bedeutet das: Wenn ein Unternehmen wirkungsvoll dazu beitragen möchte, die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad zu begrenzen, muss es den Ausstoß klima-

schädlicher Gase ab dem Zeitpunkt der Zielsetzung jährlich um 2,5 Prozent reduzieren. Zur Erreichung des 1,5-Grad-Ziels müssen die Emissionen natürlich schneller sinken, nämlich um 4,2 Prozent jährlich. Entscheidend ist, dass dies nicht nur für die Emissionen gilt, die im Unternehmen verursacht werden, sondern auch für die Emissionen, die in der vor- und nachgelagerten Lieferkette sowie in der Nutzungsphase der Produkte entstehen.

Gewiss, diese Methode bietet noch Raum für Verbesserungen – so lässt sich ein Handelsunternehmen nur schwer mit einem Chemieunternehmen vergleichen. Es gibt für die Forschung also noch viel zu tun. Gleichwohl gelingt es mit dieser Methode sehr schnell und einfach, wirkungsvolle Klimaziele für Unternehmen zu entwickeln und somit auch einzuordnen, ob die Bemühungen eines Unternehmens für den Klimaschutz bislang ambitioniert genug ausfallen.

Brigitte Frank forscht am Exzellenzcluster für Klimaforschung CLICCS der Universität Hamburg. Sie erforscht Strategien für eine kohlenstoffarme Wirtschaft.

KLIMA, KRISE, KRIEGE AM TSCHADSEE

In Nigeria arbeitet die Terrororganisation Boko Haram daran einen sogenannten „Islamischen Staat“ im nordöstlichen Teil des Landes zu errichten. Seit 2009 gibt es Anschläge auf Kirchen, Moscheen, öffentliche Plätze und Bildungseinrichtungen. Gewaltsame Auseinandersetzungen zwischen den Extremistinnen und Extremisten und dem Militär sind Alltag.

Der Konflikt hat sich auf die Nachbarländer Kamerun, Tschad und Niger ausgebreitet. Mehrere Millionen Menschen sind auf der Flucht. Viele sind auf Nahrungsmittellieferungen durch Hilfsorganisationen angewiesen, da die lokale Landwirtschaft beinahe zum Erliegen gekommen ist.

Verschärft wird die Situation dadurch, dass der Nordosten Nigerias und die Nachbarländer stark vom Klimawandel betroffen sind. Anhaltende Dürren und Hitzeperioden haben den Tschadsee und mit ihm verbundene Flüsse – die wichtigsten Wasserquellen in der Region – um 90 Prozent schrumpfen lassen.

Inwiefern ist die anhaltende Trockenheit neben dem Terror ebenfalls eine Ursache für Flucht und Konflikte?





UNHCR
The UN
Refugee Agency

Um dies zu untersuchen, bin ich 2019 für drei Monate in den Nordosten Nigerias gereist. In der Stadt Maiduguri ist in dieser Zeit das größte Flüchtlingslager der Region entstanden. Im Jahr 2019 lebten dort schätzungsweise 30.000 Menschen; ich habe damals mit 300 von ihnen gesprochen.

Die meisten meiner Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner waren Kleinbauern und Hirtinnen, die früher mit ihrem Vieh in der Nähe ihres Dorfs von Weide zu Weide zogen. Sie berichten, dass es durch den Wassermangel und den Verlust von fruchtbarem Land zu zusätzlichen Konflikten gekommen ist. Hirten kämpfen untereinander um Wasser für ihre Tiere. Zusätzlich konkurrieren sie mit Ackerbäuerinnen um Land, das die einen als Weidegrund für ihre Tiere und die anderen zum Anbau von Obst, Getreide und Gemüse benötigen.

Auf der Suche nach Wasser und Land verlassen viele Menschen ihr Heimatdorf. Einige ziehen nur ein paar Dörfer weiter. Andere geben die Viehzucht oder den Ackerbau auf und gehen in eines der vielen Flüchtlingscamps in der Region. Sie hoffen, dort zumindest mit einem Mindestmaß an Wasser und Nahrung versorgt zu werden. Auf ihrer Flucht treffen sie auf Menschen anderer Ethnien und Religionen. Auch hier kommt es immer wieder zu Konflikten. Meine Gesprächspartnerinnen berichten mir, dass deren Ursachen zum Teil in jahrtausendalten Machtkämpfen, oft aber auch in der zunehmenden

Konkurrenz um Ressourcen liegen. Einige Menschen schließen sich nach dem Verlust ihrer Lebensgrundlage Boko Haram an. Die Extremisten versprechen ihnen Hilfe, unter anderem in Form von Lebensmitteln und Unterkunft.

Die Interviews zeigen, dass die anhaltende Trockenheit Konflikte und Migrationsbewegungen verschärft. Meine Beobachtungen in Nigeria decken sich zudem mit den Forschungsergebnissen aus anderen Ländern des Globalen Südens: Besonders dort, wo bereits Unruhen oder Kriege herrschen, multipliziert der Klimawandel die Risiken für Konflikte und stärkt Terrororganisationen.

Studien belegen, dass Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel die Sicherheit und Stabilität erhöhen können. Bewässerungsanlagen, Bohrlöcher und Dämme etwa können Regenwasser speichern und bei Trockenheit wieder abgeben. Dies könnte die Wasserversorgung stabilisieren. Doch ein starker weltweiter Klimaschutz bleibt unabdingbar. Denn die Länder des globalen Nordens verursachen einen Großteil der Klimaschäden, leiden aber bisher viel weniger darunter als der Globale Süden.

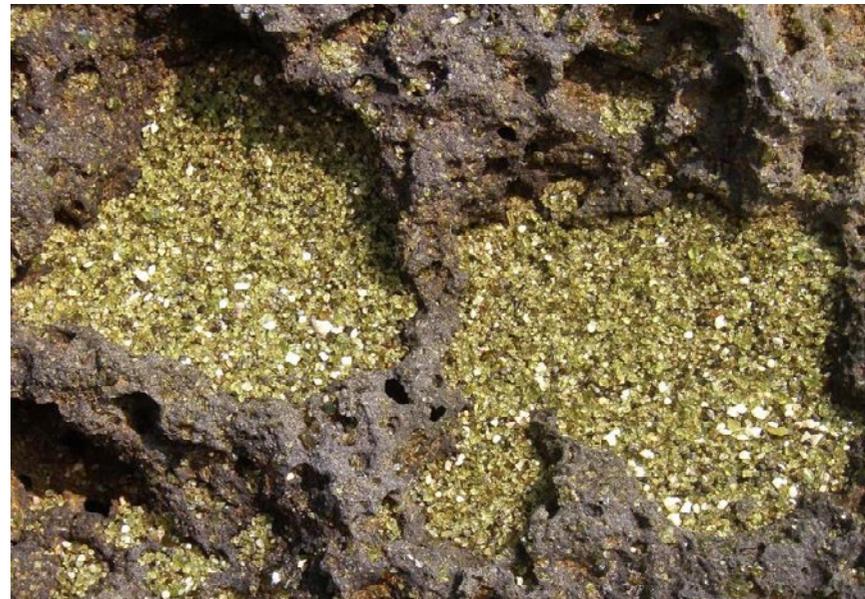
Frederic Kamta hat als Geograph zu Klimawandel und Sicherheit am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit gearbeitet.

GESTEINSMEHL BINDET CO₂ AUS DER ATMOSPHÄRE

Um die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius zu begrenzen, muss der Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) drastisch reduziert werden. Denn das Gas reichert sich in der Atmosphäre an und erwärmt diese. Weil Politik und Gesellschaft den Ausstieg aus fossilen Energien viel zu langsam vorantreiben, steigt die Gefahr einer Klimakatastrophe.

Deshalb müssen auch Methoden des Climate Engineering ausgelotet werden, mit denen CO₂ aus der Atmosphäre geholt und dauerhaft gespeichert werden soll. So auch bei der beschleunigten Verwitterung.

Diese erforsche ich mit meinen Kolleginnen und Kollegen. Bestimmte Böden werden dabei mit zermahlenem Gestein bestreut. Regen setzt dann chemische Reaktionen in Gang: Das CO₂ aus der Luft reagiert mit Wasser zu Kohlensäure. Diese Säure greift Minerale aus dem Gesteinsmehl an. Dabei wird das CO₂ zusammen mit Elementen wie Calcium, Magnesium und anderen gelöst. Dadurch ist das CO₂ im Grundwasser gebunden und gelangt schließlich über die Flüsse langfristig in die Ozeane.





Laborversuche zeigen, dass die Verwitterung sehr effizient sein kann. Wir haben die Effekte nun in einem Gewächshaus-Experiment untersucht. Knapp 90 Regentonnen wurden mit einem Lehmboden befüllt und teilweise bepflanzt. Um die Verwitterung anzukurbeln und mehr CO₂ zu binden, verteilten wir ein Pulver aus größtenteils leicht löslichen Olivin-Mineralen auf dem Boden fast aller Tonnen. Einige bestreuten wir mit groben und andere mit sehr fein gemahlene Körnern. Bei gleicher Menge bieten die feineren Körner eine größere Oberfläche – somit sollte auch mehr Gestein verwittern.

Die Tonnen wurden regelmäßig beregnet. Da das gewählte Gesteinspulver eine vergleichsweise einfache chemische Zusammensetzung hat, ließen sich die chemischen Prozesse gut nachverfolgen: Den jeweiligen Verwitterungseffekt konnten wir am pH-Wert ablesen und daran, wieviel Magnesium und Silizium im Wasser der einzelnen Tonnen wiederzufinden war. So ließen sich die verschiedenen Varianten unseres Versuchs gut miteinander vergleichen.

Unser Experiment zeigt, dass Olivin zwar weniger CO₂ bindet als bisher in der Theorie berechnet, doch insgesamt beobachteten wir einen deutlichen Effekt. Andere Gesteine wie etwa Basalt könnten aufgrund ihrer Zusammensetzung einen zusätzlichen positiven Effekt haben: Bei der Verwitterung werden Nährstoffe freigesetzt, die sich als natürlicher Dünger

eignen. Das Gesteinspulver kann also ausgelaugte Böden aufwerten und Industriedünger ergänzen. Pflanzen wachsen dann besser und können so mehr CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen. Je nach Gestein können allerdings auch Schwermetalle wie Nickel und Chrom freigesetzt werden, die sich im Boden sammeln und in bestimmten Konzentrationen schädlich für die Gesundheit sein können. In unserem Experiment konnten wir in den Pflanzen aber keine schädlichen Konzentrationen von Spurenelementen nachweisen.

Die möglichen Nebenwirkungen erfordern weitere sorgfältige Experimente. Ob sich das Gesteinsmehl eignet, die globale Erwärmung zu mindern, müssen größere Feldversuche etwa auf Äckern und in Wäldern zeigen. Dabei sollte die Beschaffenheit des Bodens berücksichtigt werden. Idealerweise wird er jeweils so aufbereitet, dass optimale Bedingungen für die Verwitterung herrschen. Warmfeuchte Regionen in den Tropen oder Subtropen eignen sich besonders gut, da die hohen Temperaturen die CO₂-Bindung beschleunigen. Entscheidend ist, welche Gesteinsarten Nachhaltigkeit und Effizienz am besten verbinden.

Dr. Thorben Amann ist Geologe am CEN der Universität Hamburg und forscht zu Methoden der Rückholung von CO₂ aus der Atmosphäre.

WIE GESTEINSSCHUTT VON GESTERN DIE MEERE VON MORGEN BEEINFLUSST

Manche Felsen sehen aus, als wären sie gestreift. Das „Streifendesign“ entsteht, wenn sich Gesteinspartikel in Schichten übereinander lagern. Verfestigen sich die Partikel nicht, bilden sich sogenannte Lockersedimente. Wind und Wasser tragen diese im Laufe der Zeit wieder ab und transportieren die Sedimente an teilweise weit entfernte Orte.

Für die Erdsystemforschung sind das wichtige Prozesse – denn das feine Gesteinsmaterial beeinflusst viele Ökosysteme. Die Sedimente tragen beispielsweise Nährstoffe mit sich oder beeinflussen, wieviel Wasser ein Boden speichern kann. Gelangt das abgetragene Gestein in die Ozeane, beeinflusst es die Chemie des Meerwassers. Bisher fehlte in der Forschung jedoch eine weltweite Gesteinskarte, die die unterschiedlichen Lockersedimente abbildet. Daher habe ich mich mit meinen Kolleginnen und Kollegen an die Arbeit gemacht.

Wir haben 126 Karten, die unterschiedliche Regionen der Erde mit ihren Lockersedimenten abbilden, zu einer globalen Karte vereint. Eine echte Herausforderung. Viele der Karten





wurden uns von den nationalen geologischen Diensten zur Verfügung gestellt und lagen zum Großteil schon digital vor. Doch einige Karten mussten zuerst digitalisiert werden. Eine weitere Schwierigkeit: Viele Karten waren in uns fremden Sprachen beschriftet – etwa Russisch und Chinesisch. Glücklicherweise halfen unsere internationalen Kolleginnen und Kollegen bei der Übersetzung.

Die so entstandene globale Karte besteht aus fast einer Million Bereichen und kann eine Art Raster bilden. Diesem Raster ordneten wir Klimadaten zu – etwa Temperatur oder Wasserabfluss an der Oberfläche – und führten verschiedene Berechnungen durch, welche nun zum Beispiel in Klimamodelle integriert werden können.

Auch für meine Doktorarbeit war die Karte Grundlage. Mit ihrer Hilfe berechnete ich, wie die über Flüsse ins Meer gelangenden Lockersedimente dort den Säuregrad des Wassers beeinflussen. In der Klimaforschung sind solche Berechnungen enorm wichtig, denn durch den steigenden Gehalt an Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre nehmen auch die Meere mehr CO₂ auf. Im Wasser löst sich das Treibhausgas und wird zu Kohlensäure.

So wird das Wasser allmählich saurer. Meereslebewesen wie Korallen, Muscheln und Schnecken, die ihre Schalen aus säureempfindlichem Kalk aufbauen, sind dadurch bedroht.

Auch Fische und Fischlarven leiden unter der zunehmenden Versauerung.

Doch einige der ins Meer gelangenden Lockersedimente können dem Prozess der Versauerung entgegensteuern. So etwa Löss. Dieses hellgelb-graue, sehr feine Material kann bewirken, dass das Meerwasser mehr CO₂ aufnehmen kann. Bis zu meiner Untersuchung wurde der Einfluss von Löss auf den Säuregehalt des Ozeans jedoch nicht genauer erforscht. Meine Berechnungen zeigen nun erstmals, dass Löss den pH-Wert des Meerwassers erhöhen kann.

Der pH-Wert ist ein Maß für den sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung. Je höher er ist, desto weniger sauer ist die Flüssigkeit. Einfach gesagt: Mehr Löss gleich weniger Säure. Bei zukünftigen Berechnungen mit Ozean- und Klimamodellen sollten diese Prozesse berücksichtigt werden.

Dr. Janine Börker forscht am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN) der Universität Hamburg. Sie untersucht globale Land-Ozean Stofftransporte, sowie die Rolle der chemischen Verwitterung im Erdsystem.

ALTES WISSEN FÜR EINE NEUE WELT

Während der Klimawandel fortschreitet, verändern sich die Lebensbedingungen rund um die Welt. Gesellschaften müssen lernen, sich daran anzupassen. Dafür werden weltweit Maßnahmen entwickelt und erprobt. Gleichzeitig existiert bereits ein reichhaltiger Fundus an Praktiken und Strategien, der bisher jedoch zu wenig beachtet wird.

Wie lässt sich auf Feldern Wasser einsparen? Wo weidet bei Trockenheit die Herde am besten? Viehhirten und Kleinbäuerinnen abseits der industriellen Nahrungsproduktion wissen dies oft, ohne einem niedergeschriebenen Plan zu folgen. Solche Erfahrungen werden über Generationen weitergegeben und Indigenes Wissen genannt. So gibt es spezielle Anbaumethoden und seltene Pflanzen, die gut an das jeweilige lokale Klima angepasst sind, Anpflanzungen als Schutz gegen Hochwasser und Erosion, Häuserbau auf Stelzen oder mit widerstandsfähigen Hölzern. Ebenso bergen soziale Konzepte von Gemeinnutzen und Teilen oder auch spezielle Frühwarnsysteme vor Klimarisiken viele Ideen zum Umgang mit dem Klimawandel.





Dieses Wissen wird auch vom Weltklimarat IPCC anerkannt. Doch als ich selbst ab 2016 drei Jahre lang an Sonderberichten des IPCC mitgearbeitet habe, stellte ich fest, dass es trotzdem kaum einfluss. Gab es womöglich nur wenig Studien zum Thema? Aufgabe des IPCC ist es, den gesamten Stand der Forschung zusammenzufassen. Um herauszufinden, ob auch Indigenes Wissen angemessen berücksichtigt wurde, habe ich die weltweite Forschung dazu zusammengetragen.

Für einen IPCC-Report werden grundsätzlich nur solche Forschungsergebnisse genutzt, die vor ihrer Veröffentlichung unabhängig wissenschaftlich geprüft wurden. Diese sind in Datenbanken mit Tausenden von Fachartikeln gespeichert, die ich systematisch gesichtet habe. Insgesamt habe ich 236 Artikel gefunden, die Anpassungen an den Klimawandel anhand von Indigenem Wissen analysieren. Von diesen hätten 68 bereits in den entsprechenden Teil des 5. Sachstandberichts, den IPCC-Report von 2014, einfließen sollen. Aufgenommen wurden aber nur 21 Arbeiten, meist auch nur oberflächlich erwähnt. Das Thema wurde also eindeutig unangemessen abgebildet.

Meine Arbeit bietet jetzt die Datengrundlage, die Forschung zu Indigenem Wissen im Weltklimabericht ausführlich aufzugreifen. Gleichzeitig kann ich zeigen, wo geographische Lücken sind – und welche Themen dominieren. So



wurden zum Beispiel Veränderungen der Niederschläge sowie Dürren in ländlichen Regionen häufiger behandelt. In Städten wurde dagegen kaum untersucht, obwohl ein Teil indigener Gruppen durchaus urban lebt.

Doch ein Dilemma bleibt: Allein durch das Auswahlverfahren schließt der IPCC einen Teil von Wissen aus. Denn die Voraussetzung ist in der Regel ein begutachteter Fachartikel, der veröffentlicht wurde. Wer aus finanziellen oder strukturellen Gründen keinen Zugang zu den akademischen Fachmagazinen bekommt, dringt mit den eigenen Erkenntnissen nicht durch. Auch mündliche Überlieferungen halten den Kriterien des IPCC nicht stand. Sie könnten aber gerade bei Indigenem Wissen eine wichtige Quelle sein.

Das muss nicht so bleiben: Eine andere Strategie verfolgt der internationale Report zur Artenvielfalt, der sogenannte IPBES-Bericht. Hier tragen nicht nur die herkömmlichen Wissenschaften bei, sondern auch Mitglieder indigener Völker und traditioneller Gemeinschaften.

Dr. Jan Petzold hat als Geograph im Exzellenzcluster CLICCS die Forschung aus unterschiedlichen Disziplinen zusammen geführt. Jetzt arbeitet er am Department für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU).

TERRASSENFELDBAU IM KLEINFORMAT SCHONT KLIMA UND NATUR

Mein Blick wandert talwärts. Er bleibt an einem Labyrinth aus Obstbäumen hängen, die mit Gemüse- und Kräuterbeeten ein grünes Muster bilden. So vielfältig zeigt sich mancher Garten auf den Hügeln des Ricote-Tals in Südostspanien. Seit Jahrhunderten bewirtschaften Kleinbäuerinnen und -bauern hier Terrassenfelder mit ausgeklügelter Bewässerung. Die traditionellen Felder sind widerstandsfähig und artenreich – und eine klimafreundliche Alternative zur industriellen Landwirtschaft. Doch in vielen verlassenen Gärten ist das Grün gewichen.

Warum geben die Menschen das Land auf? Dem bin ich genauer nachgegangen und habe die Terrassenfelder zwischen 2016 und 2019 erforscht. Wie viele werden noch bewirtschaftet? Was sagen die Menschen vor Ort?

Im ersten Schritt lokalisierte ich die landwirtschaftlichen Terrassen auf Basis von Katasterdaten und eines laserbasierten digitalen Höhenmodells der Erdoberfläche. Je nachdem,

wie sich die Oberfläche im Höhenmodell verhält, konnte ich ableiten, wo sich terrassierte und wo sich felsige Flächen befinden.

Im zweiten Schritt verwendete ich Satellitenbilder, um die Nutzung der Terrassen zu ermitteln: Ich berechnete einen Vegetationsindex, der sichtbar macht, inwieweit die Flächen von Pflanzen bedeckt sind und wie gesund diese wirken. So konnte ich erkennen, welche Felder bewässert werden.

Im nächsten Schritt führte ich die lokalisierten Terrassen und ihre Nutzung zusammen und berechnete, wie groß die bewirtschaftete Fläche der Terrassenfelder ist. Das Resultat überrascht: Je größer die Flurstücke, desto seltener sind sie kultiviert. Im Jahr 2019 etwa wurden 76 Prozent der kleinen und nur 57 Prozent der großen Felder auf den Terrassen bewirtschaftet. Aber es gibt auch einen erfreulichen Trend: Von 2016 bis 2019 ist der Anteil der nicht bewirtschafteten Terrassen um etwa 16 Prozent gesunken. Das bedeutet aber auch: 2019 wurden rund 40 Prozent der Terrassen gar nicht kultiviert. Doch woran liegt das?

Als letzter Baustein meiner Arbeit geben Gespräche mit Expertinnen sowie Einheimischen hier Aufschluss: Klimawandel, Wasserknappheit und Bodendegradation durch intensive Bewirtschaftung sind die wichtigsten Umweltfaktoren für die Landaufgabe in der Region. Doch in den Gesprächen sind





soziale und wirtschaftliche Gründe noch entscheidender. So haben die steilen Hänge und lokale Erbgelien, die das Land unter Geschwistern aufteilen, zur Zersplitterung der Flächen geführt. Die Einheimischen berichten zudem, dass die Landwirtschaft wegen hoher Arbeitsbelastung und niedriger Erntepreise für junge Menschen unattraktiv ist. Trotzdem fühlen sich auch die Nachkommen dem Land stark verbunden und möchten nicht verkaufen, auch wenn sie es nicht bewirtschaften. So fallen viele Flächen für den Feldbau weg.

Meine Berechnungen zeigen allerdings auch, dass der Landbau auf kleineren Feldern gut zu funktionieren scheint. Auch erfuhr ich, dass Familien neben dem Anbau noch andere Einnahmequellen haben und somit Preisschwankungen kompensieren können. Trotzdem ist die Konkurrenz zur industriellen Landwirtschaft allgegenwärtig. Auf Agrarbeihilfen kann Ricote jedoch nicht zählen, da die kleinen Felder nicht förderfähig sind. Um die Vielfalt und Widerstandskraft der Landschaft zu bewahren, wäre es aber wichtig, gerade Kleinbäuerinnen und -bauern zu unterstützen.

Dr. Katharina Heider forscht als Geografin zu nachhaltiger Landwirtschaft im Mittelmeerraum und arbeitet mit satellitenbasierten Geo-Informationssystemen (GIS).

SAUERSTOFFVERBRAUCH VON SEDIMENTEN IM HAMBURGER HAFEN

Im Hamburger Hafen schwimmen Fische manchmal stark atmend dicht unter der Wasseroberfläche – ein Zeichen dafür, dass der Sauerstoff im Wasser knapp wird. Lebensbedrohlich wird es für die Tiere, bei weniger als drei Milligramm Sauerstoff pro Liter.

Im Sommer 2014 wurde dieser Wert für mehrere Tage unterschritten. Dabei sollen 100 Tonnen Fische verendet sein. Ein Grund dafür sind die hohen Temperaturen im Sommer, die durch den Klimawandel zusätzlich verstärkt werden: Je wärmer ein Wasserkörper ist, desto weniger Sauerstoff löst sich darin. Darüber hinaus bilden sich bei warmen Temperaturen verstärkt Algen in der Mittelbe. Diese werden flussabwärts in die tiefere Tideelbe transportiert. Während Algen im flachen Wasser Sauerstoff produzieren, fehlt ihnen in der Tiefe dafür das Licht. Sie sterben ab und werden zersetzt. Dies entzieht dem Wasser besonders viel Sauerstoff.

Der Sauerstoffhaushalt gerät immer dann aus dem Gleichgewicht, wenn mehr Sauerstoff durch Atmung oder den Abbau organischer Substanz verbraucht wird, als durch



Photosynthese oder durch die Luft eingetragen wird. Wie stark und zu welchen Anteilen die Teilprozesse wirken, ist noch unklar. Ebenso, welchen Einfluss die Sedimente am Grund des Flusses auf den Sauerstoffhaushalt haben. Ich untersuche, wieviel Sauerstoff die Sedimente verbrauchen und welche Faktoren den Sauerstoffverbrauch steuern.

Sedimente setzen sich aus mineralischen Bestandteilen und organischem Material wie zersetzten Pflanzen oder Algen zusammen. Der Sauerstoffverbrauch wird durch chemische und biologische Prozesse gesteuert. Mikroorganismen im Sediment verbrauchen bei der Zersetzung organischer Bestandteile Sauerstoff oder reichern das Porenwasser mit Stoffen an, die Sauerstoff verbrauchen. Wirbeln Schiffe, Bagger oder die Strömung das Sediment auf, werden chemische Verbindungen freigesetzt, die den Sauerstoffverbrauch sprunghaft ansteigen lassen.

Um dies genauer zu untersuchen, führte ich verschiedene Experimente mit frischem Sediment im Labor durch: Ich bestimmte den Sauerstoffverbrauch und die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Hafensedimente und untersuchte, wie sich die Konzentration verschiedener Stoffe nach sieben Tagen entwickelte: Aus der veränderten Konzentration von Ammonium, Nitrit, Nitrat, Sulfat, Eisen und Mangan im Wasser konnte ich ableiten, welchen Einfluss einzelne Prozesse auf den Sauerstoffverbrauch haben.





Zwei Jahre lang nahm ich monatlich Proben im Hansahafen. Meine Laborversuche zeigen, dass die Sedimente unter bestimmten Bedingungen im Sommer bis zu fünf Mal mehr Sauerstoff verbrauchen als im Winter – vor allem in der Schicht bis in zwanzig Zentimeter Tiefe. Außerdem untersuchte ich die Sedimente von 21 verschiedenen Standorten zwischen Stover Strand im Osten und Wedel im Westen. In der Fahrrinne im Hafen verbrauchten die Sedimente am wenigsten Sauerstoff. Das liegt vor allem am hohen Sandanteil: An den Sandkörnern setzen sich kaum organische Bestandteile fest, die Sauerstoff verbrauchen können.

In meiner Arbeit konnte ich die Faktoren identifizieren, die den Sauerstoffverbrauch von Sedimenten steuern. Zudem konnte ich die beteiligten biochemischen Prozesse und deren Anteil am gesamten Sauerstoffverbrauch bestimmen. Mit Hilfe dieser Daten haben wir ein Prognosemodell entwickelt, mit dem wir den Sauerstoffverbrauch von Sedimenten anhand eines Kennparameters modellieren können. Dieser Ansatz hilft, zugrundeliegende Prozesse besser zu verstehen und bestehende Modelle zu verbessern.

Dr. Mathias Spieckermann forschte am CEN und verfasste seine Doktorarbeit am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg.

25 EURO CO₂-STEUER RETTEN NICHT DAS KLIMA

Mittlerweile ist jedes Land vom Klimawandel betroffen. Hitzewellen, Stürme oder der Verlust an Artenvielfalt verändern unsere Umwelt. Auch die sozialen und wirtschaftlichen Schäden sind enorm: Ernteaussfälle, Waldbrände und Gesundheitsgefahren kommen uns teuer zu stehen. Wieviel Geld sollten wir heute in die Hand nehmen, um die Schäden von morgen abzumildern?

Im Pariser Abkommen wurde festgelegt, den Temperaturanstieg auf unter zwei Grad, besser noch 1,5 Grad, zu begrenzen. Deutschland will bis 2050 klimaneutral sein. Wie lässt sich das erreichen? Als Umweltökonom analysiere ich verschiedene Maßnahmen, mit denen der Ausstoß von Treibhausgasen eingedämmt werden soll. Ein zentrales Mittel ist beispielsweise, eine Steuer auf Treibhausgase zu erheben.

Bekommt das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) einen Preis, steigen die Produktionskosten, denn für die entstehenden Emissionen muss nun gezahlt werden. Die Folge: CO₂-intensive Produkte werden teurer. Verbraucherinnen und Verbrau-



cher müssen dafür tiefer in die Tasche greifen. Dementsprechend steigt die Nachfrage nach den günstigeren CO₂-armen Gütern. Ebenso ist es im Transportsektor. Steigt der Benzinpreis, wird mehr in Elektromotoren investiert. Klimaschutz wird so wettbewerbsfähig.

Seit 2021 muss in Deutschland 25 Euro je Tonne CO₂ gezahlt werden, die bei der Verbrennung von Heiz- oder Kraftstoffen entsteht, was ungefähr sieben Cent mehr pro Liter Benzin entspricht. Bis 2025 wird die Steuer schrittweise auf 55 Euro angehoben. Doch ist der Preis sinnvoll – und gerecht? Dahinter steht unter anderem die Frage, wieviel wir heute bereit sind zu bezahlen, um Klimaschäden in Zukunft zu vermeiden. Um das zu berechnen habe ich zusammen mit einem internationalen Forschungsteam ein Klimarechenmodell mit einem Wirtschaftsmodell verknüpft. Auf diese Weise kombinieren wir die in unserer Wirtschaft entstehenden Emissionen mit den dadurch hervorgerufenen Klimaveränderungen und Klimaschäden. Und eine weitere Komponente habe ich integriert: Die Empfehlungen aus einer Befragung von 173 Expertinnen und Experten, die erforschen, wie viel wir heute für zukünftige Generationen investieren sollten.

Unsere Ergebnisse zeigen, wie viele Treibhausgase wir vermeiden sollten, um ein optimales Wohlergehen für heutige und zukünftige Generation zu erreichen. Am anschaulichsten

lässt sich das in CO₂-Preisen ausdrücken: Je höher der heutige CO₂-Preis, desto mehr Emissionen sparen wir ein. Folglich sind auch die Klimaschäden geringer. Fest steht: Es gibt nicht den einen richtigen Preis, sondern verschiedene Klimapfade die wir beschreiten können – je nachdem wieviel Wert wir zukünftigen Generationen beimessen.

Setzen wir hohe ethische Maßstäbe für die Welt unserer Kinder und Enkel an, sollte eine Tonne CO₂ heute 200 Euro kosten. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass eine Tonne für Mensch und Umwelt Klimaschäden im Wert von circa 200 Euro verursacht. Diese Summe empfiehlt ebenfalls das Umweltbundesamt und auch die Fridays-for-Future Bewegung beruft sich auf diesen Preis. Folgen wir dem mittleren Klimapfad des Modells, sollte der Wert für eine Tonne CO₂ bei gut 100 Euro liegen.

Beide Summen sind weit entfernt von den veranschlagten 25 Euro bis 55 Euro im Jahr 2025. Die CO₂-Preise müssen also deutlich angehoben werden, um die Erde auch für nachfolgende Generationen lebenswert zu erhalten.

Prof. Moritz Drupp ist Umweltökonom am Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN) der Universität Hamburg und im Klima-Exzellenzcluster CLICCS.

Bildnachweis

©sandsun/iStock (Titel), ©Bim/iStock (Titel innen), ©Dragunov1981/iStock (S. 5), ©Arbeitsgemeinschaft Torfbahn Himmelmoor e.V./Dan Zelck (S. 7), ©Bullenwächter + Christoph Braun (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Himmelmoor_Panorama.jpg#), „Himmelmoor Panorama“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode> (S. 8 o.), ©geogif/iStock (S. 8 u.), ©DBT/Thomas Imo/photothek (S. 11 o.), ©geogif/iStock (S. 11 u.), ©RelaxFoto.de/iStock (S. 12 o.), ©K_Thalhofer/iStock (S. 12/13), ©DoraDalton/iStock (S. 13 o.), ©GermanS62/iStock (S. 15), ©DKRZ/MPI-M (S. 17 o.), ©Sean Wu, International Institute for Sustainable Development (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IPCC_adoption_of_the_Summary_for_Policymakers_of_the_Special_Report_on_Global_Warming_of_1.5°C.jpg), <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode> (S. 17 u.), ©Presidencia de la República Mexicana ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:JCH_6442_\(22802505643\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:JCH_6442_(22802505643).jpg)), „JCH 6442 (22802505643)“, <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode> (S. 18 o.), ©industryview/iStock (S. 18 u.), ©“Herder and Cattle“ by MudflapDC, <https://flic.kr/p/FczoTx>, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/legalcode> (S. 23 o.), ©Yusuff Suleiman (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rural_life_in_Katsina_State,_Nigeria.jpg), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode> (S. 23 u.), ©lfeatu Nnaobi (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Children_at_IDP_Camp_Maiduguri_Borno_State.jpg), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode> (S. 24/25), ©Schicker Mineral (S. 29 o.), ©Brocken Inaglory (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green_sand_in_lava_rocks.jpg), „Green sand in lava rocks“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode> (S. 29 u.), ©Dirk Paessler (S. 30/31), ©Rama (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leman_img_0573.jpg), „Leman img 0573“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/deed.en> (S. 35), ©Rachel Kaye/iStock (S. 36/37), ©Dr. Shiva Devkota/IPBES (S. 41), ©helovi/iStock (S. 42 o.), ©Monika Winkler/BLE (S. 42 u.), ©Katharina Heider/UHH (S. 47/48), ©deepblue4you/iStock (S. 51 o.), ©Heiko119/iStock (S. 51 u.), ©Mathias Spieckermann/CEN/UHH (S. 53/54), ©PS3000/iStock (S. 57)

Herausgeber

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

Redaktion

Sophia Haves, Stephanie Janssen, Ute Kreis, Meike Lohkamp,
Franziska Neigenfind
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN)

Gestaltung

HAAGEN design, Hamburg

Auflage: 1.000

Druck: Reset St. Pauli, lokal, 100% klimaneutral

Hamburg, 2023

mit freundlicher Unterstützung des Hamburger Abendblatts

ZUM INHALT

Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf Krisengebiete in Nigeria? Welche traditionelle Anbaumethode in bergigem Gelände ist eine Alternative zu industrieller Landwirtschaft? Und wie beeinflussen Bodensedimente den Sauerstoffgehalt des Wassers – und damit die Lebensfähigkeit zahlreicher Tierarten?

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

www.cen.uni-hamburg.de

www.cliccs.uni-hamburg.de

X: @CENunihh