

Tropisches Regenband auf Nordkurs

Die meisten Niederschläge auf der Erde fallen in einem schmalen Gürtel nahe dem Äquator. Synchron zur Erderwärmung ist diese tropische Starkregenzone in den vergangenen 200 Jahren deutlich nach Norden gewandert. Mit zunehmendem Klimawandel dürfte sie sich noch weiter vom Äquator entfernen – mit dramatischen Folgen für die Landwirtschaft der Entwicklungsländer in den Tropen.

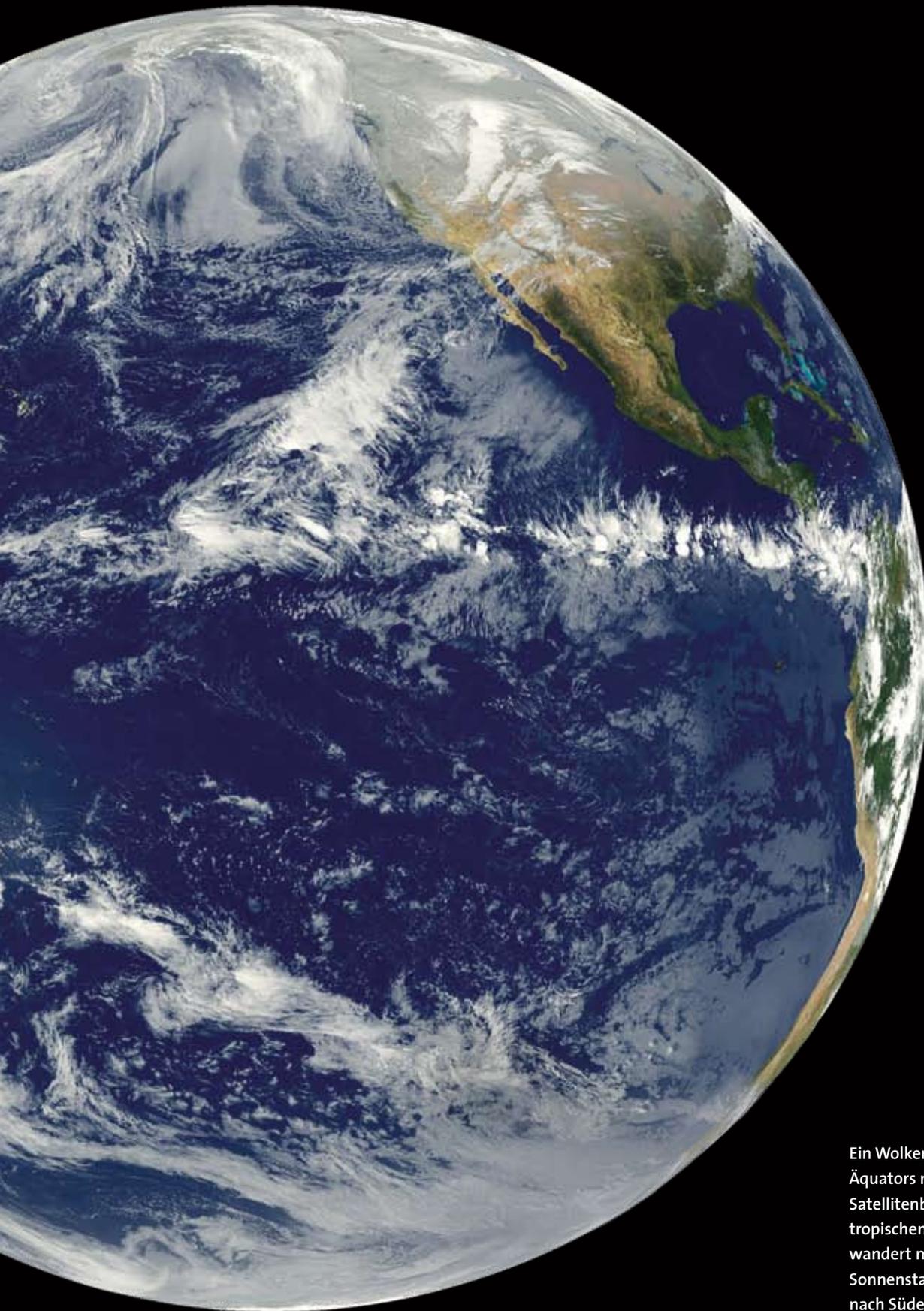
Von Julian P. Sachs und Conor L. Myhrvold

AUF EINEN BLICK

NIEDERSCHLAGSVERSCHIEBUNG GEFÄHRDET LANDWIRTSCHAFT

- 1** Knapp nördlich des Äquators zieht sich ein Regenband rund um den Erdball, das tropische Regionen mit reichlich Niederschlägen versorgt. Seine genaue Position hängt von der mittleren globalen Lufttemperatur ab.
- 2** Analysen von Sedimenten in den Seen pazifischer Inseln zeigen, dass das Band derzeit so weit nördlich verläuft wie nur einmal zuvor – während der mittelalterlichen Wärmephase – in den letzten 1200 Jahren. Seit dem Ende der kleinen Eiszeit vor knapp 200 Jahren hat es sich um fünf Breitengrade nach Norden verlagert, was rund 550 Kilometern entspricht.
- 3** Setzt sich die Erderwärmung durch den vom Menschen verursachten Ausstoß von Treibhausgasen im heutigen Tempo fort, dürfte sich das Band bis zum Ende des Jahrhunderts um weitere fünf Grad nach Norden verschieben.
- 4** In einigen Ländern Südamerikas und Südostasiens sanken dadurch die Regenfälle, was die Landwirtschaft und damit die Nahrungsmittelproduktion beeinträchtigen würde. Auch die Produktion wirtschaftlich wichtiger Exportgüter wie Kaffee und Bananen wäre betroffen.





NOAA-NASA GOES PROJECT

Ein Wolkenstreifen nördlich des Äquators markiert auf diesem Satellitenbild die Lage des tropischen Regenbands. Es wandert mit dem variierenden Sonnenstand im Jahresverlauf nach Süden und Norden. Den dabei überstrichenen Bereich nennen Meteorologen innertropische Konvergenzzone (ITCZ).

Um zwei Uhr nachts setzte plötzlich der Bordmotor aus. Unser Entschluss, in einem kleinen Fischerboot von den Marshallinseln im Nordpazifik aufs offene Meer hinauszufahren, erschien uns da auf einmal gar nicht mehr so klug. Zum Glück ging das Abenteuer glimpflich aus. Diese Bootsfahrt war nur eine von vielen Exkursionen, die uns helfen sollten, auf den ersten Blick unmöglich Scheinendes zu erreichen: über einen ganzen Ozean hinweg die Geschichte der Regenfälle bis in eine ferne Vergangenheit zurückzuverfolgen. So wollten wir herausfinden, wie sich ansteigende Lufttemperaturen, hervorgerufen durch die stetige Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre, auf die Niederschläge in den Tropen auswirken werden. Für diesen Zweck sind wir kreuz und quer durch den Pazifik zu unzähligen Inseln gereist.

Das Hauptniederschlagsgebiet unseres Planeten liegt in den Tropen, wo es sich wie ein Gürtel um den Erdball zieht. Dieser wandert im Jahresverlauf, dem Stand der Sonne folgend, nach Norden oder Süden. Der Bereich, in dem er sich bewegt, heißt fachsprachlich innertropische Konvergenzzone (ITCZ).

Jede Erwärmung oder Abkühlung der Erde durch Treibhausgasen oder durch eine Änderung der Sonnenintensität kann die Lage dieses Regenbands beeinflussen, das den Niederschlag für die Landwirtschaft in den Tropen liefert. Seine Position spielt auch eine entscheidende Rolle für die Monsune Ostasiens, Afrikas und Indiens. Eine permanente Verlagerung würde die Lebensbedingungen in den Tropen daher

drastisch beeinflussen – mit weltweiten Folgen. Zudem hätte sie Auswirkungen auf die Stärke und Dauer der Wirbelsturm-saison im Atlantischen, Pazifischen und Indischen Ozean.

Bis vor Kurzem wussten Klimaforscher nicht, ob die Spanne, in der sich die Bandmitte derzeit über das Jahr hinweg bewegt – zwischen 3° und 10° N über dem Pazifik –, mit der in früheren Zeiten übereinstimmt. Unsere Untersuchungen lieferten nun jedoch Informationen über die Position der ITCZ seit dem Jahr 800 n. Chr. Demnach hat sie sich in den letzten vier Jahrhunderten um fünf Grad nach Norden verlagert, was immerhin rund 550 Kilometern entspricht. Schon eine relativ geringe Zunahme der Temperatur kann die Regenfälle in den Tropen also erheblich beeinflussen.

Auch Vorhersagen sind nun möglich – etwa über die weitere Verlagerung der ITCZ bei fortgesetzter Erderwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts. Daraus ergeben sich Prognosen für die Regenfälle in den äquatornahen Zonen der Erde und für die Niederschlagsmenge in höheren Breiten Asiens und Mittelamerikas sowie im Südwesten der USA. Einige Gegenden profitieren wahrscheinlich, aber viele andere werden sich wohl auf Dürren einstellen müssen.

Vor unseren Untersuchungen gab es kaum Daten über die Position der ITCZ während der letzten 1000 Jahre. Das Regenband wabert um den Äquator herum und kann dabei je nach den lokalen Bedingungen und dem jahreszeitlichen Sonnenstand einige Dutzend bis mehrere hundert Kilometer breit sein. Über dem Pazifik ist es besonders stark ausgeprägt, weshalb sich anbot, dort seine Bewegung im vergangenen Jahr-

Algen als Regenmesser

Algen beziehen all ihren Wasserstoff aus dem Wasser, in dem sie leben. Nach ihrem Tod lagern sie sich am Gewässergrund ab und werden im Sediment eingebettet. Misst man in den Lipiden ihrer Zellmembranen die Konzentration der beiden stabilen Wasserstoffisotope Deuterium (D) und Protium (H), so kann man berechnen, wie viel Regen zu Lebzeiten der Algen gefallen ist.

Das D/H-Verhältnis vieler Algen hängt direkt mit dem des umgebenden Wassers zusammen, das seinerseits die Relation zwischen Niederschlag und Verdunstung im betreffenden See widerspiegelt. Beim Verdampfen von Wasser gehen Moleküle mit dem leichteren Protium bevorzugt in den gasförmigen Zustand über, weshalb sie im Niederschlag angereichert sind. Innerhalb des tropischen Regenbands regnet es oft und kräftig. Deshalb überwiegt der Niederschlag die Verdunstung, und das D/H-Verhältnis im Seewasser ist niedrig. Außerhalb des Bands, wo weniger Niederschlag fällt, gilt das Umgekehrte. Aus diesem Grund gibt das variierende D/H-Verhältnis in den Lipiden von Algen aus tiefen Sedimentschichten Aufschluss über die früheren Regenfälle.

Hinzu kommt, dass für das D/H-Verhältnis dieser Lipide auch der Salzgehalt des Wassers eine Rolle spielt. Seinen Einfluss

konnten die Autoren berücksichtigen, weil die speziellen Bedingungen auf der Weihnachtsinsel ein natürliches Experiment geschaffen haben, das eine Kalibrierung erlaubte. Dort gibt es eine Reihe von Teichen mit vergleichbaren Temperaturen, Lichtbedingungen, Nährstoffkonzentrationen und D/H-Verhältnissen im Wasser, aber stark unterschiedlicher Salinität.

Die Autoren stellten fest, dass das D/H-Verhältnis der Lipide von Zyanobakterien (»Blualgen«) linear mit dem Salzgehalt zunimmt. Dieser sinkt bei reichlich Niederschlag und steigt bei Trockenheit. Insofern beeinflusst er das D/H-Verhältnis der Lipide in gleicher Richtung wie die Regenmenge, was dieses Verhältnis zu einem noch empfindlicheren Maß für den hydrologischen Wandel macht.

Für sich allein sind die Niederschlagswerte allerdings so gut wie nutzlos. Sie müssen datiert werden. Das Alter eines Sediments bestimmten die Autoren anhand zweier radioaktiver Isotope: Kohlenstoff-14 und Blei-210, deren Halbwertszeiten 5730 beziehungsweise 22,3 Jahren betragen. Aus dem Wasserstoffisotopenverhältnis zu verschiedenen Zeitpunkten ließen sich so Veränderungen des Niederschlags in den vergangenen 1200 Jahre rekonstruieren.

Mit einem Stahlrohr gewinnen Forscher einen Sedimentbohrkern vom Grund eines Sees auf der zu den Marshallinseln zählenden Lib Island (links). Um von einem aufrecht gehaltenen, langen Bohrkern noch am Ort der Probennahme dünne Scheiben abzuschneiden und für die spätere Analyse einzutüteten, ist es praktisch, auf Bäume zu klettern (rechts).



MITFOTOG. VON CONOR L. MYHRVOLD



tausend zu verfolgen. Trends in diesem Raum sollten, weil das Regenband die ganze Erde umspannt, für die ITCZ insgesamt gelten.

Wissenschaftler können auf vielerlei Weise die Vergangenheit rekonstruieren. So lässt sich ein historisches Profil der weltweiten Treibhausgase aus Luftblasen erstellen, die in Eisproben aus den Polarregionen eingeschlossen sind. Zudem liefert das Isotop Beryllium-10 in Eisbohrkernen – ebenso wie der Anteil von Kohlenstoff-14 in Baumringen – Informationen über die einstige Sonnenintensität. Es ist auch gelungen, den Verlauf der globalen Mitteltemperatur über mehr als ein Jahrtausend zurückzuverfolgen. Demnach herrschten um das Jahr 800 etwa dieselben Klimabedingungen wie im späten 18. Jahrhundert. Während der mittelalterlichen Wärmephase (800–1200 n. Chr.) lagen die Temperaturen ähnlich hoch wie im 20. Jahrhundert. In der kleinen Eiszeit (1400–1850 n. Chr.) sanken sie dagegen stark ab.

In den letzten zwei Jahrzehnten blieb die Strahlungsintensität der Sonne im Wesentlichen konstant. Trotzdem sind sowohl die globale Mitteltemperatur als auch der Gehalt der Atmosphäre an Kohlendioxid (CO₂), dem häufigsten von der Menschheit freigesetzten Treibhausgas, in dieser Zeit auf Werte geklettert, die deutlich über denen in den vergangenen 1200 Jahren liegen.

Als wir unsere Arbeit begannen, war allerdings nur wenig über das frühere tropische Klima bekannt. Sedimente am Meeresboden sind zwar ausgezeichnete Klimaarchive, was Zeiträume von Jahrtausenden betrifft. Sie lagern sich jedoch zu langsam ab, um detaillierte Informationen über kürzere Intervalle zu liefern. Viele Korallenstöcke wiederum erzeugen jährliche Bänder ähnlich Baumringen. Da sie aber selten länger als 300 Jahre leben, geben sie keinerlei Auskunft über die Zeit vor 1700.

Die Kartierung der einstigen Regenfälle sollte uns die ITCZ-Position im vergangenen Millennium verraten. Nieder-

schlag, der im Meer gelandet ist, lässt sich natürlich später nicht mehr bestimmen. Über den Pazifik sind jedoch viele kleine Inseln verstreut. Auf ihnen gibt es Seen und Teiche, die einen Blick in die Vergangenheit erlauben. In den letzten sechs Jahren haben wir Dutzende Sedimentbohrkerne vom Grund solcher Gewässer geborgen. Die aufgesuchten Inseln – darunter einige der entlegensten und exotischsten – liegen im gegenwärtigen Regenband beziehungsweise einige Breitengrade südlich und nördlich davon und sind über den gesamten Pazifik verteilt. Wo sich die ITCZ zu einer bestimmten Zeit befand, ergibt sich aus den Positionen der Orte, an denen es damals stark regnete. Eine synchrone Zu- und Abnahme der Niederschläge in Richtung Norden oder Süden weist auf eine allgemeine ozeanweite Verschiebung des Bands hin.

»Air Maybe« macht ihrem Namen alle Ehre

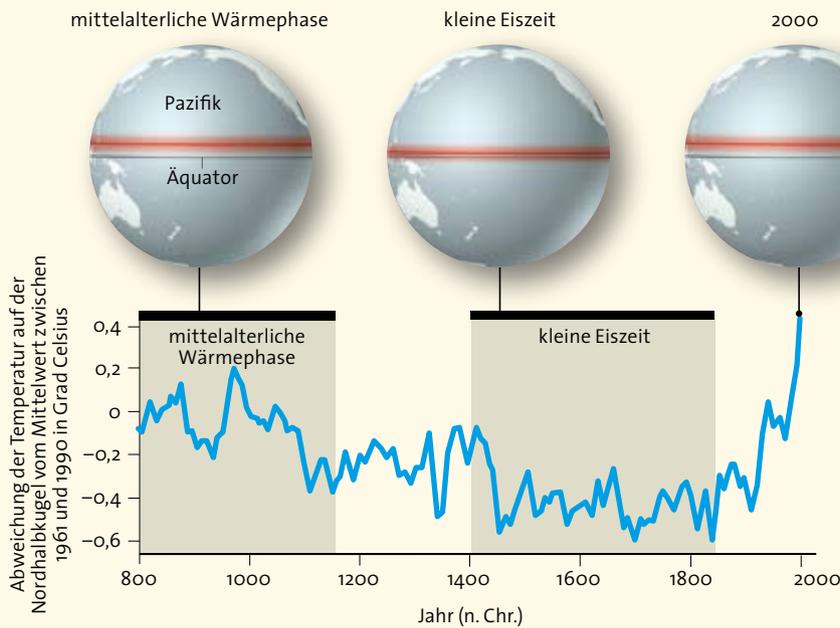
Feldstudien sind ein Abenteuer, und dazu gehören auch Rückschläge, Ausrüstungsprobleme, sprachliche Hürden sowie die Schwierigkeit, zu den Orten für vorgesehene Sedimentbohrungen zu gelangen. So waren bei unserer Ankunft in Majuro, der Hauptstadt der Marshallinseln, die beiden einzigen Flugzeuge der lokalen Luftfahrtgesellschaft Air Marshall Islands (von den Einheimischen scherzhaft »Air Maybe« genannt) gerade defekt. Deshalb entschlossen wir uns zu dem anfangs erwähnten zweitägigen Ausflug mit einem umgerüsteten Fischerboot, das allerdings wenig seetüchtig aussah und nichts Gutes ahnen ließ.

Um einen Sedimentbohrkern zu ziehen, müssen wir in der Regel zunächst zu Fuß durch Morast waten und über flache Gewässer rudern. Dabei stoßen wir einen langen Stab ins Sediment, um die Tiefe festzustellen und herauszufinden, ob dort Hindernisse wie große Gesteinsbrocken, alte Korallen oder Wurzeln lauern. Wenn das nicht der Fall ist, pressen, rammen und drehen wir ein langes Rohr in den Boden und ziehen es samt Inhalt wieder heraus.

Die Wanderung des Regenbands mit der Temperatur

Die **innertropische Konvergenzzone (ITCZ, rot)** zieht sich wie ein Gürtel um die Erde. Sie entsteht, weil die äquatorialen Gewässer von der Sonne stark aufgeheizt werden. Das verdunstende Wasser steigt mit der warmen Luft auf, kondensiert in der Höhe und fällt als Regen wieder zu Boden. Außerdem sorgen die aufsteigenden Luftmassen für niedrigen Luftdruck. Das ruft die zum Äquator gerichteten Passatwinde sowie nördlich und südlich davon riesige Hochdruckgebiete hervor. Über sie hinweg wird die in den Tropen aufsteigende Luft bis in die gemäßigten Breiten geführt, wo sie im Wechselspiel mit kalter Polarluft für

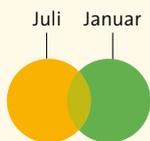
das typische unbeständige Wetter sorgt. Die erhöhten Temperaturen auf der Nordhalbkugel während der mittelalterlichen Warmephase haben das Regenband nach Norden wandern lassen (links); wegen der kühleren Witterung in der nachfolgenden kleinen Eiszeit ist es nach Süden zurückgekehrt. Heute verläuft es wieder mindestens genauso weit nördlich wie im Mittelalter. Die prognostizierte Anreicherung von menschengemachten Treibhausgasen in der Atmosphäre könnte bewirken, dass sich die ITCZ bis Ende des Jahrhunderts um weitere fünf Grad nach Norden verlagert.



Folgen: Bei einer Verschiebung des Regenbands um weitere fünf Grad nach Norden würden hunderte Millionen Menschen nahe dem Äquator in die angrenzende Trockenzone geraten. Die Subsistenzlandwirtschaft sowie die Kaffee- und Bananenplantagen in Ecuador, Kolumbien, dem nördlichen Indonesien und Thailand fielen der Dürre zum Opfer – von der Artenvielfalt ganz zu schweigen. Einige Staaten wie Guam und El Salvador, die sich zum ersten Mal in dem Band befanden, bekämen dafür mehr Regen ab. Schwere Dürren im Südwesten der USA dürften zur Regel werden.

Jahreszeitliche Schwankung: Die Mittellinie des Regenbands, die durchschnittlich bei 7° N liegt, variiert mit dem Sonnenstand zwischen etwa 3° N im nördlichen Winter (grün) und 10° N im Sommer (orange). In manchen Regionen hat das Band größere Ausbuchtungen. Bohrproben von Seesedimenten auf den hier verzeichneten und vielen weiteren Inseln gaben Aufschluss darüber, wo und wann in der Vergangenheit kräftiger Regen fiel. Daraus ließ sich auf frühere Positionen des Regenbands schließen.

tropische Regionen, in denen zwischen 1979 und 2005 im Mittel mehr als 200 Millimeter Regen pro Monat fiel



ILLUSTRATIONEN: GEORGE RETSECK; NACH NODA; TEMPERATUR-DIAGRAMM: JIN CHRISTIANSEN; NACH MICHAEL E. MANN ET AL.; PROXY-BASED RECONSTRUCTIONS OF HEMISPHERIC AND GLOBAL SURFACE TEMPERATURE VARIATIONS OVER THE PAST TWO MILLENNIA. IN: PNAS 105 (16), 2008, S. 13152-13157

Da sich Sediment mit sehr unterschiedlicher Geschwindigkeit abgelagert, wissen wir nicht, wie tief wir bohren müssen. Im Allgemeinen reicht ein Meter Sediment mindestens einige hundert Jahre zurück. Auf Washington Island (Teraina), die zum südpazifischen Staat Kiribati gehört, zum Beispiel deckten neun Meter 3200 Jahre ab. Wenn möglich versuchen wir das Rohr bis zum Felsgrund vorzutreiben, der aus Vulkangestein oder Ablagerungen von Sand oder Korallen aus der Zeit vor der Entstehung des Sees besteht. Auf diese Weise können wir ein Maximum an Information aus dem lokalen Klimaarchiv gewinnen.

So gut wie jeder unserer Bohrkerne wies eine individuelle Sedimentfolge auf. Manchmal waren meterdicke hellrote, gallertartige Schichten erhalten, die aus Zyanobakterien bestanden. Das galt etwa für die Probe aus dem Untergrund eines Sees auf Washington Island. In anderen Fällen bestand das Sediment aus braunem Schlamm, der reich an Schwefelwasserstoff war (also bestialisch stank) und Reste von Mangrovenblättern enthielt. Ab und zu fand sich auch eine Schicht mit zweischaligen Muscheln – so auf einer Insel des Staates Palau.

Obwohl es uns um die Rekonstruktion früherer Regenfälle ging, mussten wir zunächst die Eigenschaften des jeweiligen Ökosystems unter den heutigen Klimabedingungen erfassen. Nur so konnten wir beurteilen, was die analogen Messwerte in der früheren Umwelt über die damaligen Niederschläge verrieten. Deshalb nahmen wir Wasserproben aus verschiedenen Tiefen, um die chemische Zusammensetzung und das Wasserstoffisotopen-Verhältnis sowie die Algen- und Mikrobenpopulationen zu bestimmen. Mit dünnen Glasfaserfiltern fingen wir Plankton und Mikroben auf und lagerten sie zur Konservierung sofort auf Eis. Zudem sammelten wir Vegetationsproben aus der unmittelbaren Umgebung. Später wollten wir die Fettstoffe (Lipide) in den Zellhüllen analysieren.

Sorgsamer Umgang mit empfindlichen Bohrkernen

Nach dem Ziehen der Bohrkerne mussten wir dafür sorgen, dass sie unverfälscht ins Labor gelangten. Um eine Durchmischung der Sedimentschichten zu vermeiden, trennten wir die obersten Lagen, die besonders weich sind, in einen Zentimeter dicke Scheiben auf und steckten jede davon einzeln in ein markiertes Plastiktäschchen.

Mit Stapeln von Eiskisten voller Sediment-, Wasser- und Planktonproben sowie langen Pappkartons mit jenen Teilen der Bohrkerne, die nicht portioniert werden mussten, reisten wir nach unseren Expeditionen schließlich zurück zu unserem Labor an der University of Washington in Seattle. Dort maßen wir die beiden stabilen Wasserstoffisotope in den Lipiden der Algen, die sich in tiefen Schichten der Sedimente erhalten hatten, und bestimmten das Alter der Proben. So konnten wir auf die Regenmenge zu Lebzeiten der Organismen schließen (siehe Kasten auf S. 80).

Über die Jahre konnten wir die Karte der historischen Regenfälle und damit der einstigen ITCZ-Position mit immer

neuen Daten stetig präzisieren. Und wir forschen weiter: Die jüngste Expedition führte uns nach Kosrae in Mikronesien. Die Analyse der dort gesammelten Proben wird noch einige Monate in Anspruch nehmen. Doch schon jetzt zeigen die Resultate unserer früheren Fahrten, kombiniert mit Daten von Kollegen, dass sich geringfügige Änderungen im Wärmegehalt der Atmosphäre während der kleinen Eiszeit stark auf

die tropischen Regenfälle auswirkten. Damals ging die am Oberrand der Atmosphäre einfallende Sonnenenergie etwa 100 Jahre lang um nur zwei Promille zurück. Trotzdem wanderte die ITCZ rund 500 Kilometer weit nach Süden, Richtung Äquator. Dadurch trockneten feuchte Regionen wie der Palau-

Archipel aus, und vordem aride Zonen wie die Galapagosinseln erhielten reichlich Regen.

Diese Empfindlichkeit gegenüber geringen Temperaturänderungen verheißt für die Zukunft nichts Gutes. Den Projektionen des UN-Klimarats (IPCC) zufolge wird sich der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre – vor allem durch die Emissionen von Fahrzeugen und Kraftwerken – bis Mitte des Jahrhunderts verdoppeln und bis 2100 verdreifachen. Dadurch erwärmt sich die Atmosphäre zwei- bis dreimal so stark wie am Ende der kleinen Eiszeit, als die Sonne wieder heller strahlte.

Damals blieb die Mittellinie des Regenbands durchweg südlich von 5° N. Heute schwankt sie im Jahresverlauf zwischen 3° N und 10° N. Durch den menschengemachten Treibhauseffekt droht bis 2100 eine weitere Verlagerung um fünf Grad oder 550 Kilometer nach Norden – auf 8° N bis 15° N. Das würde die Niederschlagsverteilung in vielen Regionen drastisch ändern.

Für diese Prognose sprechen die Ergebnisse unserer Untersuchungen auf den Pazifikinseln. So fallen auf Washington Island, das bei 5° N liegt, heute im Jahr 3000 Liter Regen pro Quadratmeter. Vor 400 Jahren waren es – bei höheren Verdunstungsraten – weniger als 1000. Umgekehrt herrschten auf dem heute wüstenartigen Hochland der bei 1° S gelegenen Galapagosinsel San Cristóbal während der kleinen Eiszeit wesentlich feuchtere Bedingungen.

Archäologische Befunde bestätigen unsere Resultate. Demnach bauten die Bewohner Indonesiens und anderer Inseln im Südpazifik zwischen Anfang und Ende der kleinen Eiszeit deutlich mehr Wehranlagen. Der Grund dürfte sein, dass mit der Verschiebung des Regenbands nach Süden die Inseln im Norden austrockneten. Möglicherweise löste das eine Völkerwanderung aus, der die Bewohner der südlicheren Inseln mit Schutzmauern zu begegnen suchten.

Heutzutage verringern Entsalzungsanlagen und Schiffshandel die Abhängigkeit von Regenfällen. Dennoch würde eine Verlagerung des Regenbands um fünf Grad nach Norden Hunderte von Millionen Menschen gefährden, die nah am Äquator leben und ihre eigenen Nahrungsmittel anbauen – ganz zu schweigen von der Artenvielfalt in den Tropen. Viele Staaten innerhalb der aktuellen ITCZ sind Entwicklungslän-

Die Verlagerung des Regenbands löste eine Völkerwanderung aus

der, deren Bevölkerung in diesem Jahrhundert voraussichtlich stark zunehmen wird. Wahrscheinlich haben sie nicht die Mittel für die nötigen Anpassungen. Schwindende Regenfälle auf der einen Seite und zunehmende Überflutungen auf der anderen – beides innerhalb von Jahrzehnten oder sogar nur wenigen Jahren – würden die Landwirtschaft hart treffen. Da außerdem die Bevölkerung wächst, wären Nahrungsmangel und politische Unruhen die Folge. Letztendlich käme es vermutlich zu Wanderungsbewegungen großen Ausmaßes.

Ertragseinbrüche bei Kaffee und Bananen

Zu den Gebieten, die neu in der ITCZ lägen und mehr Niederschlag abbekämen, zählen El Salvador und Teile der Philippinen. Dafür würden die feuchten Gebiete im nördlichen Indonesien, in Malaysia, den südlichen Philippinen, Mikronesien, Thailand und Kambodscha aus dem Regenband herausfallen. Inwieweit ein stärkerer Monsun die dadurch ausbleibenden Niederschläge kompensieren könnte, ist eine offene Frage. Generell dürften diese Länder aber trockener werden. Pflanzenarten, die für die heutigen Wachstumsbedingungen ideal geeignet sind, würden nicht länger gedeihen. Kaffeepflanzen zum Beispiel brauchen – ähnlich wie Weinreben – zu Beginn der Wachstumsperiode viel Regen. Um verwertbare Bohnen zu entwickeln, benötigen sie insgesamt mehr als 1800 Liter pro Quadratmeter.

In Südamerika würden Ecuador und Kolumbien aus der ITCZ herausfallen und entsprechend trockener werden. Die wachsende Verstädterung könnte helfen, mit der neuen Lage zurechtzukommen; denn die Landwirtschaft verliert dadurch an Bedeutung. Kolumbien ist aber der drittgrößte Kaffeeproduzent der Welt, und weniger Niederschlag würde hier wie in Indonesien langfristig den Ertrag schmälern. Die meisten Anbaugebiete, die südlich von 8° N liegen, dürften ab Mitte bis Ende des Jahrhunderts betroffen sein. Am stärksten bedroht sind ertragreiche Gebiete im Süden und an der Küste Kolumbiens, da sie am weitesten vom Regenband entfernt sein werden.

Auch die Zukunft von Ecuadors Bananenproduktion dürfte trüb aussehen. Gute Bananen benötigen hohe Temperaturen und 2000 bis 2500 Liter Regen pro Quadratmeter und Jahr. Aber Ecuador liegt heute schon südlich der ITCZ. Reicht der Niederschlag dort derzeit gerade noch aus, dürfte er durch die weitere Verlagerung des Regenbands bis zum Jahr 2100 auf 1000 Liter pro Quadratmeter sinken. Bananen ließen sich dann nicht mehr erzeugen. Ein Beispiel, wie schnell die Erträge einbrechen können, liefern die Philippinen. Dort produzierte ungefähr die Hälfte der Plantagen wegen einer ungewöhnlich langen Trockenzeit Anfang 2010 Früchte, die zu klein für die kommerzielle Verwertung waren.

In allen genannten Gebieten wäre auch die Subsistenzwirtschaft der Landbewohner betroffen. Als Folge käme es zu einer massiven Abwanderung in die Städte, wo zusätzliche Elendsviertel entstünden. Der Mangel an lokal erzeugten

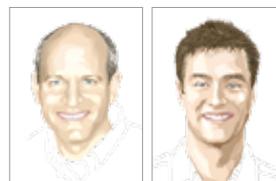
Lebensmitteln müsste durch teure Einfuhren ausgeglichen werden.

Wenn das Regenband weiter so schnell nach Norden wandert wie in den letzten 400 Jahren, wirkt sich das auch auf die Niederschläge in den USA aus. Anzeichen dafür gibt es schon. So leidet der Südwesten der USA gerade unter einer schweren mehrjährigen Dürre, die bei ungebremster Emission von Treibhausgasen womöglich zur Norm im 21. Jahrhundert wird. Höhere Temperaturen und eine stetige Verlagerung des Regenbands drohen die nördlich daran anschließende subtropische Trockenzone, die sich derzeit über Nordmexiko erstreckt, in den Süden der USA zu verschieben.

Sichere Vorhersagen erfordern noch einige Arbeit. Die früheren und heutigen Muster der Regenfälle in den Tropen lassen sich am Computer bisher nicht präzise simulieren. Erst wenn Klimamodelle, welche Daten von Sedimentbohrkernen und anderen Quellen berücksichtigen, die in der Vergangenheit und Gegenwart beobachtete Niederschlagsverteilung exakt reproduzieren, lassen sich wirklich handfeste Prognosen erstellen. Unsere Kollegen an der University of Washington und andernorts arbeiten daran.

Wir hingegen werden weiterhin Sedimente von tropischen Inseln innerhalb der ITCZ sowie nördlich und südlich davon untersuchen, um die Position des Regenbands während des letzten Millenniums noch genauer zu bestimmen – als Basis für immer bessere Abschätzungen, wo die Niederschlagszone künftig verlaufen wird. ∞

DIE AUTOREN



Julian P. Sachs (links) ist Associate Professor für Ozeanografie an der University of Washington in Seattle. Sein Team arbeitet an der Entwicklung und Anwendung von Methoden, durch Analyse von Molekülen oder Isotopen

klimatische sowie geo- und biochemische Vorgänge während der letzten 2000 Jahre aufzuklären. **Conor L. Myhrvold** studiert Geowissenschaften an der Princeton University (New Jersey) und hat als Assistent von Sachs und Fotograf an den letzten Expeditionen teilgenommen.

QUELLEN

Field, J.S., Lape, P.V.: Paleoclimates and the Emergence of Fortifications in the Tropical Pacific Islands. In: Journal of Anthropological Archaeology 29, S. 113–124, 2010

Mann, M.E.: Proxy-Based Reconstructions of Hemispheric and Global Surface Temperature Variations over the Past Two Millennia. In: Proceedings of the National Academy of Sciences USA 105, S. 13252–13257, 2008

Sachs, J.P. et al.: Southward Movement of the Pacific Intertropical Convergence Zone AD 1400–1850. In: Nature Geoscience 2, S. 519–525, 2009

WEBLINK

Diesen Artikel sowie weiterführende Informationen finden Sie im Internet: www.spektrum.de/artikel/1067449