



geomax

Aktualisierte Ausgabe 24 / Sommer 2024



© Imago Photo/stock.adobe.com

Rauch über dem Regenwald – wie Brände am Amazonas das Klima beeinflussen

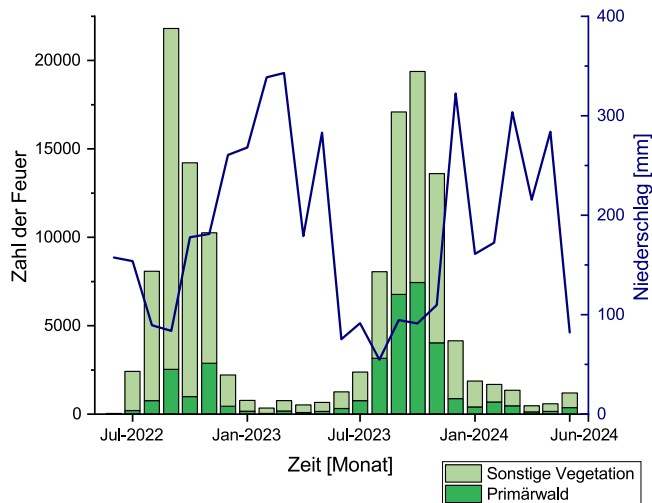
Verkohlte Baumstümpfe, wo einst üppige Tropenwälder standen: Vor allem während der Trockenzeit breiten sich im brasilianischen Amazonasgebiet immer wieder Feuer aus und führen zu großer Zerstörung. Die meisten der Brände sind menschengemacht. Um neue Areale für die Landwirtschaft zu gewinnen, werden Waldflächen abgeholzt und anschließend in Brand gesteckt. Die Brände bedrohen nicht nur einzigartige Ökosysteme. Sie haben auch Auswirkungen auf das Weltklima.

„Feuer sind in dieser Region mittlerweile nichts mehr Ungewöhnliches“, sagt Sebastian Brill, Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz. Beginnend mit dem Bau der Fernstraße Transamazonica in den 1970er-Jahren und den zunehmenden menschlichen Eingriffen brennt es dort inzwischen jedes Jahr. Die Brandsaison 2023 fiel allerdings besonders dramatisch aus: „Auf den ersten Blick sticht das Jahr in der Statistik nicht heraus, weil meist nur die Gesamtzahl der Brände erfasst wird“, sagt Brill, der in der Arbeitsgruppe von Christopher Pöhlker forscht. „Doch Feuer ist nicht gleich Feuer. Entscheidend sind die Fläche, die Dauer des Brandes und vor allem, welcher Vegetationstyp betroffen ist.“ Während normalerweise vermehrt solche Flächen brennen, die bereits landwirtschaftlich genutzt wurden oder auf denen Sekundärvegetation wächst, haben sich die Feuer im Jahr 2023 vermehrt auch in Primärwaldgebieten ausgebreitet (Abb. A) – in Arealen also, die normalerweise sehr feucht und daher nicht

feuergefährdet sind. Diesmal herrschte in Amazonien allerdings eine ungewöhnliche Trockenheit, als Folge von **El Niño** (s. Geomax 30). Dieses natürliche Klimaphänomen verändert die globalen Zirkulationsmuster und führt in manchen Gegenden zu Überschwemmungen, in anderen zu Dürren. Aufgrund der Trockenheit fraßen sich die Feuer auch durch Regionen mit unberührter Vegetation. „Wenn Feuer auf Regenwaldgebiete übergreifen, schwelen sie dort manchmal wochenlang“, sagt Sebastian Brill. Da Tropenwälder im Gegensatz zu manchen anderen Ökosystemen nicht an saisonale Brände angepasst sind, verursachen dort Feuer mitunter immense Schäden. Die meisten Brände im Amazonasgebiet werden dabei vorsätzlich gelegt: **Brasilien**, auf dessen Territorium der größte Teil des **Amazonas-Regenwalds** liegt, zählt zu den Ländern mit den höchsten Entwaldungsraten weltweit. Kleinbauern, Großgrundbesitzer und Spekulanten legen Feuer, um durch **Brandrodung** illegal neue Flächen für die Landwirtschaft zu gewinnen und für sich zu beanspruchen. Die staatlichen Bemühungen reichen nicht aus, um diesen **Landraub** effektiv einzudämmen.

Christopher Pöhlker und sein Team am Mainzer Max-Planck-Institut für Chemie möchten herausfinden, welchen Einfluss die Brände auf das **Klima** und die Niederschläge in der Region haben. Sie arbeiten dazu in einem einzigartigen brasilianisch-deutschen Gemeinschaftsprojekt mit: dem Amazon Tall Tower Observatory, kurz ATTO (Abb. B). Das Observatorium besteht aus drei Türmen,

Abb. A: FEUERSAISON IN AMAZONIEN



Im Amazonasgebiet kommt es immer wieder zu Bränden, vor allem während der Trockenzeit von September bis November. Im Jahr 2023 haben sich die Feuer aufgrund einer massiven Trockenheit vermehrt auch in Primärwaldgebieten ausgebreitet.

die rund 150 Kilometer nordöstlich der Stadt Manaus mitten im Regenwald stehen und mit hochempfindlichen Messgeräten ausgestattet sind. Der höchste davon misst 325 Meter – etwas weniger als der Eiffelturm. Mit ATTO können die Forschenden Daten über Regenwaldmeteorologie und -ökologie, Treibhausgase sowie in der Atmosphäre enthaltene Teilchen – sogenannte **Aerosole** – sammeln. Das ermöglicht ihnen, Wolkeneigenschaften und Niederschlagsmuster zu untersuchen und sie mit dem Auftreten von Waldbränden in Zusammenhang zu bringen.

RODEN FÜR ACKERBAU UND VIEHZUCHT

Der Amazonas-Regenwald bedeckt aktuell noch eine Fläche von etwa 5,5 Millionen Quadratkilometern und ist damit das größte Regenwaldgebiet der Erde. Zum Vergleich: Die Landflächen von Deutschland und Frankreich umfassen zusammengefasst rund eine Million Quadratkilometer. Die Amazonasregion ist nicht nur ein Hotspot der biologischen Vielfalt und Heimat für 385 indigene Völker. Sie ist auch das weltgrößte Süßwasserspeicher und spielt eine Schlüsselrolle im Klimageschehen. In den vergangenen Jahrzehnten ist das Amazonasgebiet jedoch zum Spielball wirtschaftlicher Interessen geworden und gerät immer mehr unter Druck. Ein Fünftel des Amazonas-Regenwalds wurde bereits zerstört. Haupttreiber der Entwaldung sind **Rinderzucht** und **Sojaanbau**.

Brasilien beherbergt neben rund 210 Millionen Einwohnern derzeit etwa 230 Millionen Rinder (Stand 2024). Das Land zählt damit zu den führenden Rindfleisch-Produzenten weltweit. Mehr als ein Drittel der Tiere leben in der Amazonasregion. Noch lukrativer als die Rinderzucht ist der Sojaanbau, der sich mit staatlicher Förderung zu einem hochtechnisierten Wirtschaftszweig entwickelt hat (Abb. C). Brasiliens Sojapflanzungen bedecken aktuell rund 433.000 Quadratkilometer – eine Fläche, die größer ist als Deutschland. Rund zwei Drittel der Pflanzen wachsen im Amazonasgebiet. Die eiweißreichen Sojabohnen werden vor allem in

der Tiermast verfüttert und sind die Grundlage für die rasant wachsende Massentierhaltung in den Industrienationen. Zu den größten Abnehmern zählt die EU. Innerhalb Europas belegt Deutschland den Spitzenplatz. Die Zerstörung des Amazonas-Regenwalds folgt häufig demselben Schema: Zuerst werden die wertvollen Bäume gefällt, dann Feuer gelegt, um Weideflächen zu schaffen. Die Rinderhaltung ist allerdings nur kurzzeitig profitabel, weil der Boden sehr arm an Nährstoffen ist. Bald werden die Flächen daher aufgekauft und für den Anbau von großteils gentechnisch verändertem Soja genutzt – unter massivem Einsatz von Dünger und Pestiziden. Im Anschluss werden neue Areale niedergebrannt. So fressen sich riesige Viehweiden und gigantische, monotone Sojafelder immer tiefer in die Waldgebiete.

KLIMAPUFFER AUF DER KIPPE

Auf diese Weise geht nicht nur ein einzigartiger Lebensraum verloren. Auch das Klima droht aus dem Gleichgewicht zu geraten: Allein durch seine Größe spielt der Amazonas-Regenwald eine wichtige Rolle im globalen **Kohlenstoffkreislauf** (s. Geomax 22): Seine Biomasse bindet dieselbe Menge an Kohlenstoff, wie die gesamte Menschheit innerhalb eines Jahrzehnts emittiert. Das Niederbrennen der Vegetation vernichtet wichtige Kohlenstoffspeicher und setzt riesige Mengen an Kohlendioxid frei, die das Klima weiter anheizen. Im schlimmsten Fall könnte der Wald irgendwann seine Pufferwirkung verlieren und sogar mehr Kohlendioxid abgeben als aufnehmen – mit verheerenden Folgen für das Weltklima. Um die globale Erwärmung zu begrenzen, muss die Entwaldung am Amazonas und in anderen Teilen der Welt drastisch reduziert werden. Gelingt dies nicht, dürften häufigere Extremwetterereignisse wie Dürren und Stürme die Baumsterblichkeit erhöhen – und gleichzeitig Feuer begünstigen. Dabei wären allein schon die steigenden Temperaturen fatal: Fachleute gehen davon aus, dass die Regenwälder einen Temperaturanstieg von nur wenigen Grad Celsius überleben.

FLIEGENDE FLÜSSE

Damit Regenwald gedeihen kann, sind neben der Temperatur auch die Niederschläge entscheidend. Ein einzelner großer Baum kann pro Tag mehrere Hundert Liter Wasser verdunsten. Das vielschichtige, bis in 40 Meter Höhe reichende Laubwerk bietet auf einem Quadratmeter Regenwaldboden acht bis zehnmal soviel potenzielle Verdunstungsfläche wie ein Stück Weideland derselben Größe. Durch die hohe Verdunstungsrate schafft die Vegetation die Grundlage für ihre eigene Existenz: Nur dadurch, dass Wald vorhanden ist, fällt genügend Regen, um Wald wachsen zu lassen. Etwa die Hälfte des verdunsteten Wassers regnet sich in der unmittelbaren Umgebung ab. Ein weiterer Teil speist die sogenannten „**Fliegenden Flüsse**“ – feuchte Luftströme, die in Richtung Anden treiben. Von dort aus werden sie in den Süden des Kontinents umgelenkt, wo sie für Regen sorgen. Verschwindet der Wald, geraten die Fliegenden Flüsse ins Stocken, und weite Teile Südamerikas werden immer trockener.

„Fällt der Niederschlag über dem Regenwald zu gering aus, besteht die Gefahr, dass der dichte und feuchte Regenwald abstirbt und zu offeneren savannenartigen Wäldern wird“, erklärt Christopher Pöhlker. „Dabei gibt es möglicherweise irgendwo einen ‚point of no return‘ – einen Punkt, an dem das System unwiderruflich kippt.“ Der Max-Planck-Forscher und sein Team möchten dazu beitragen, diesen

Abb. B: FORSCHUNG IN LUFTIGER HÖHE



© S. Brill, MPI für Chemie / CC BY-NC-SA 4.0

Abb. C: SOJA-MONOKULTUREN



© istockphoto / alffoto

kritischen Punkt zu identifizieren. Dazu müssen sie verstehen, wie schrumpfender Regenwald, Wasserhaushalt und Klima miteinander verknüpft sind und wie sie sich gegenseitig beeinflussen.

MESSTATION ÜBER DEM BLÄTTERDACH

Das ATTO-Observatorium, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mitfinanziert wird, bietet dafür ideale Bedingungen: „Das Projekt ist einzigartig, weil es nicht nur eine Momentaufnahme liefert, sondern auf mehrere Jahrzehnte angelegt ist“, sagt Pöhlker. „Damit haben wir den Finger am Puls des Geschehens und können mitverfolgen, wie sich das System verändert.“ Das Mainzer Team arbeitet gemeinsam mit dem vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena und brasilianischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an der Schnittstelle zwischen Aerosol, Wolke und Klima: „Wir beobachten die Geburt von Wolken und ihre Entwicklung, um diesen komplizierten und dynamischen Prozess besser zu verstehen.“

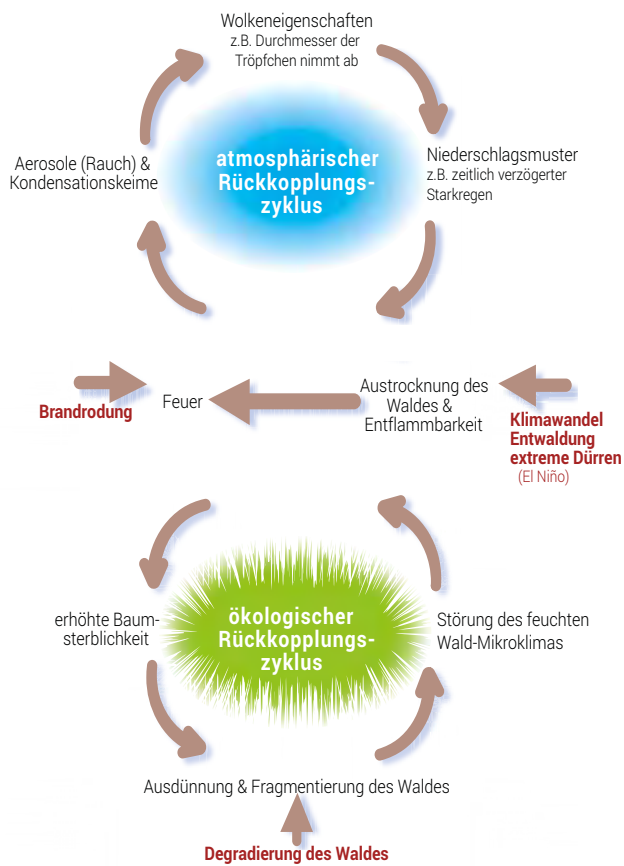
Mithilfe von ATTO untersuchen Pöhlker und seine Kolleginnen und Kollegen die Wolkenbildung unter verschiedenen Bedingungen: Hoch über dem Blätterdach werden die Messgeräte von Luftmassen umströmt, die aus unterschiedlichen Regionen des Landes herangetragen wurden. Mithilfe von ausgeklügelten Computermodellen lässt sich der Ursprung dieser Luftmassen bestimmen. So können die Forschenden direkt untersuchen, wie sich saubere Luft im Vergleich zu Luft aus Waldbrandgebieten auf die Wolkenbildung und die mikrophysikalischen Eigenschaften der Wolken auswirkt.

Eine entscheidende Rolle spielen dabei die in der Atmosphäre vorkommenden Aerosole: Die darin enthaltenen Partikel wirken als Kondensationskeime, an denen sich Wasserdampf aus der Luft als Tröpfchen niederschlägt. „Für die Wolkenbildung macht es einen großen Unterschied, ob die Luft sauber ist oder viele Aerosole enthält, wie sie bei großen Feuern freigesetzt werden“, sagt Christopher Pöhlker.

Ausschlaggebend ist folgender Mechanismus: In sauberer Luft kondensiert der Wasserdampf auf relativ wenigen Aerosolpartikeln (einigen Hundert pro Kubikzentimeter) zu wenigen, dafür aber großen Tropfen. Durch sogenannte **Koaleszenz** – das Zusammenstoßen und Zusammenfließen und somit Wachstum der Tropfen – wird in diesem Fall schon bald nach Entstehung der Wolke Regen gebildet. In schmutziger Luft mit vielen Aerosolen (einigen Tausend bis Zehntausend Partikel pro Kubikzentimeter), entstehen viele, dafür jedoch deutlich kleinere Tröpfchen mit einer viel geringeren Neigung zur Koaleszenz. Das kann die Bildung von Regen verzögern oder sogar ganz unterdrücken.

„Dieser Mechanismus ist einer von mehreren menschengemachten Einflüssen, die – nach allem was wir heute wissen – eine Austrocknungstendenz des Regenwalds verstärken“, sagt Christopher Pöhlker. „Dies wiederum erhöht die Entflammbarkeit des Waldes und damit die Zahl und Intensität der Amazonasfeuer. Weil diese Prozesse sich tendenziell selbst verstärken, besteht die Gefahr, dass großskalige Entwicklungen in Gang gesetzt werden, die sich womöglich schon in naher Zukunft unserer Kontrolle

Abb. D: RISKANTE RÜCKKOPPLUNGSEFFEKTE



Die Grafik zeigt in vereinfachter Form sich selbst verstärkende Prozesse (braune Pfeile). Durch menschliche Einflüsse (rot) wird der Regenwald zunehmend trockener und damit feueranfälliger. Die Rückkopplungseffekte können zu Entwicklungen führen, die sich möglicherweise schon in naher Zukunft nicht mehr kontrollieren lassen.

entziehen. Die genaue Funktionsweise dieser Rückkopplungszyklen aus Feuer, Rauch, Wolkenveränderung und Niederschlag birgt noch eine Reihe von offenen Fragen. Sie sind ein Kernpunkt unserer Amazonasforschung.“ (Abb. D)

DIE REINSTE LUFT AUF DEM PLANETEN

Eine dieser Fragen beinhaltet die Suche nach dem Atmosphärenzustand unter vorindustriellen Bedingungen vor 1750 – eine Zeit, bevor die Menschen in großem Umfang Gase und Partikel aus Industrie, Verkehr und Intensivlandwirtschaft in die Atmosphäre freigesetzt haben. „Über die Funktionsweise vieler präindustrieller Atmosphärenprozesse wissen wir schlichtweg nichts, weil die heutige Atmosphäre durch die Emissionen stark verändert ist“, erklärt Pöhlker. „Es gibt heutzutage auch nur noch sehr wenige Orte weltweit, die einem Vergleich mit der präindustriellen Zeit standhalten und daher Rückschlüsse zulassen. Der Amazonas-

Regenwald ist einer dieser Orte, an dem während der Regenzeit zumindest einige Wochen im Jahr die Atmosphäre so sauber ist, dass kaum menschliche Einflüsse messbar sind.“ Dieser sehr saubere Zustand steht in Kontrast zur massiven Verschmutzung durch die vielen Entwaldungsfeuer in der Trockenzeit. Anhand des direkten Vergleichs der annähernd präindustriellen Regenzeitatmosphäre und der stark verschmutzten Trockenzeitatmosphäre können die Forschenden darauf schließen, wie wesentliche Teile des Weltklimasystems, insbesondere die Wolken, auf die vielfältigen menschlichen Eingriffe reagieren.

Die Forschungsergebnisse zeigen immer deutlicher, wie komplex die Wechselwirkungen zwischen Wald, Atmosphäre und Klima sind und welche zentrale Rolle der Amazonas-Regenwald im regionalen wie auch globalen Klimageschehen spielt. Umso wichtiger ist es, die Regenwaldvernichtung zu stoppen und intakte Waldflächen zu schützen. Christopher Pöhlker sieht die Verantwortung dafür nicht allein in Südamerika. „Es ist zu einfach, nur nach Brasilien zu zeigen und die Situation zu beklagen.“ Ein Teil des Problems ist der weltweit hohe Fleischkonsum. Nach Ansicht des Max-Planck-Forschers lässt sich die Entwaldung am Amazonas letztlich nur durch wirtschaftliche Anreize aufhalten: „Es muss sich für Brasilien finanziell lohnen, den Regenwald stehen zu lassen. Genauso wie die Bekämpfung des Klimawandels und eine rücksichtsvollere Gestaltung des Weltwirtschaftssystems ist auch der Schutz des Amazonas-Regenwaldes eine Aufgabe, die auf internationaler Ebene gelöst werden muss. Sie erfordert die Mithilfe von uns allen.“

Schlüsselbegriffe

Aerosol, Amazonas-Regenwald, Brandrodung, Brasilien, El Niño, Fliegende Flüsse, Klima, Koaleszenz, Kohlenstoffkreislauf, Landraub, Rinderzucht, Sojaanbau

Lese-Tipp

- M. Specht: *Amazonas – Gefahr für die grüne Lunge der Welt*. Schriftenreihe der Bundeszentrale für politische Bildung, Band 10609, 2021

Link-Tipps

- ATTO-Projekt mit Bildungsmaterialien www.mpg.de/g241 ➤ QR
- FAQ zu Waldbränden www.mpg.de/g242
- Mit dem Feuer arbeiten www.mpg.de/g243
- Global Fire Monitoring Center www.mpg.de/g244



Video-Tipps

- Waldbrände im Amazonas-Regenwald www.mpg.de/g245 ➤ QR (YouTube)
- Der Amazonas www.mpg.de/g246



www.max-wissen.de

der Link zur Forschung
für Lernende und Lehrkräfte

