



geomax

Ausgabe 24 // Herbst 2020



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

Im August 2019 riefen mehrere brasilianische Bundesstaaten den Notstand aus: In der Amazonasregion wüteten die schwersten Waldbrände seit Jahren. Tausende Feuer loderten gleichzeitig und verursachten so viel Rauch, dass sich über der weit entfernten Millionenmetropole São Paulo nachmittags der Himmel verdunkelte und gigantische Mengen an Ruß den Regen schwarz färbten.

Die Bilder und Medienberichte von brennendem **Amazonas-Regenwald**, die im Sommer 2019 um die Welt gingen, sorgten international für Wut und Proteste. „Dabei sind Feuer in dieser Region nichts Neues“, sagt Christopher Pöhlker, Forschungsgruppenleiter am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz. „Im Amazonasgebiet brennt es jedes Jahr, nur bleiben die Brände normalerweise unter dem Radar der Weltöffentlichkeit.“ Im August 2019 war die Lage allerdings besonders dramatisch: Das brasilianische Institut für Weltraumforschung INPE erfasste auf Satellitenaufnahmen der Region mehr als 45000 Brände – rund zwei Drittel mehr als zur selben Zeit in den Jahren zuvor. Ein Großteil der Feuer war auf Privatgrund und in der Nähe ländlicher Siedlungen ausgebrochen, aber auch Naturschutzgebiete und Ländereien der indigenen Bevölkerung standen in Flammen. Ursache war nicht etwa eine ungewöhnliche Trockenheit. Die meisten Feuer wurden vorsätzlich gelegt. **Brasilien**, auf dessen Territorium der größte Teil des Amazonas-Regenwalds liegt, hat in absoluten Zahlen die höchste

Entwaldungsrate weltweit. Weil Ackerflächen und Viehweiden auf kurze Sicht lukrativer sind als ursprünglicher Regenwald, legen Kleinbauern, Großgrundbesitzer und Spekulanten immer wieder Feuer, um durch **Brandrodung** illegal neue Flächen für die Landwirtschaft zu gewinnen und für sich zu beanspruchen. Von den staatlichen Behörden wird dieser **Landraub** oft toleriert. Im August 2019 riefen Farmer sogar zu einem „Tag des Feuers“ auf, um gemeinsam große Flächen in Brand zu stecken.

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. Der Chemiker und seine Kollegen arbeiten dazu in einem einzigartigen brasilianisch-deutschen Gemeinschaftsprojekt mit: dem Amazon Tall Tower Observatory, kurz ATTO **(Abb. A)**. Das Observatorium besteht aus drei Türmen, die rund 150 Kilometer nordöstlich der Stadt Manaus mitten im Regenwald stehen und mit hochempfindlichen Messgeräten ausgestattet sind. Der höchste davon misst 325 Meter – mehr als der Eiffelturm. Mit ATTO können die Forscher 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.

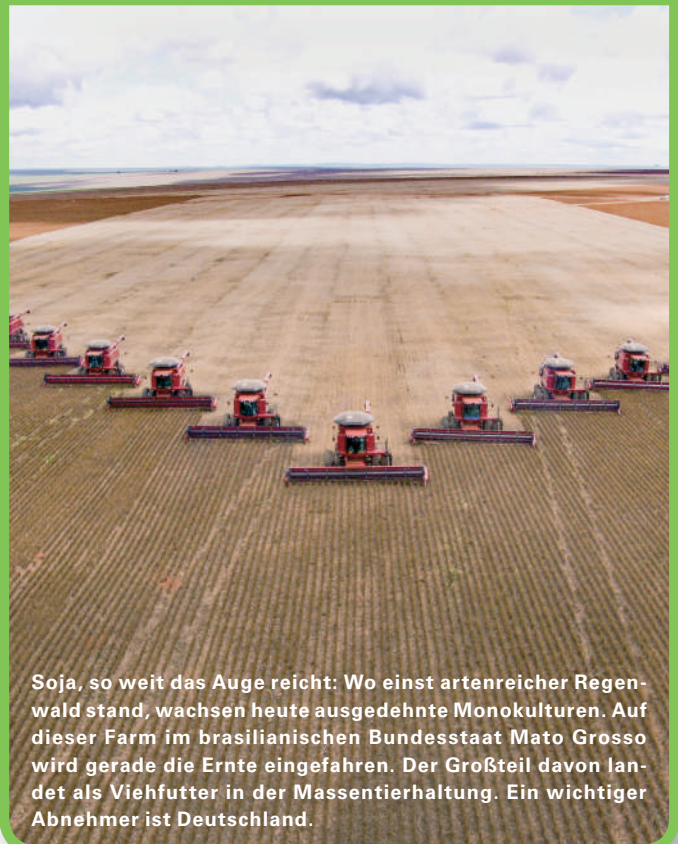
Abb. A: FORSCHUNG IN LUFTIGER HÖHE



Das Amazon Tall Tower Observatory (ATTO) ragt weit über das Blätterdach des Regenwalds hinaus.

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

Abb. B: SOJA-MONOKULTUREN



Soja, so weit das Auge reicht: Wo einst artenreicher Regenwald stand, wachsen heute ausgedehnte Monokulturen. Auf dieser Farm im brasilianischen Bundesstaat Mato Grosso wird gerade die Ernte eingefahren. Der Großteil davon landet als Viehfutter in der Massentierhaltung. Ein wichtiger Abnehmer ist Deutschland.

© istockphoto / aifoto

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 zusammengenommen 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 Süßwasserreservoir 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 215 Millionen Rinder (Stand 2019). 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. B). Brasiliens Sojaanlagen bedecken aktuell rund 320.000 Quadratkilometer – eine Fläche, die fast so groß ist wie 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 schlagen Holzfäller die wertvollen Bäume. Dann legen Rinderzüchter Feu-

er, 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. Die Rinderzüchter wiederum brennen neue Areale nieder. 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 Kohlenstoffdioxid frei, die das Klima weiter anheizen. Im schlimmsten Fall könnte der Wald irgendwann seine Pufferwirkung verlieren und sogar mehr Kohlenstoffdioxid abgeben als aufnehmen – mit verheerenden Folgen für das Weltklima. Um die globale Erwärmung auf unter 2°C oder sogar auf unter 1,5°C zu begrenzen, wie in der „Pariser Vereinbarung“ aus dem Jahr 2015 beschlossen, 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: Experten 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 zehnmals 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 wahrscheinlich irgendwo einen ‚point of no return‘ – einen Punkt, an dem das System unwiderruflich kippt.“ Die Max-Planck-Forscher möchten dazu beitragen, diesen 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.“ Die Mainzer Forscher arbeiten gemeinsam mit Kollegen vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena und brasilianischen 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.“

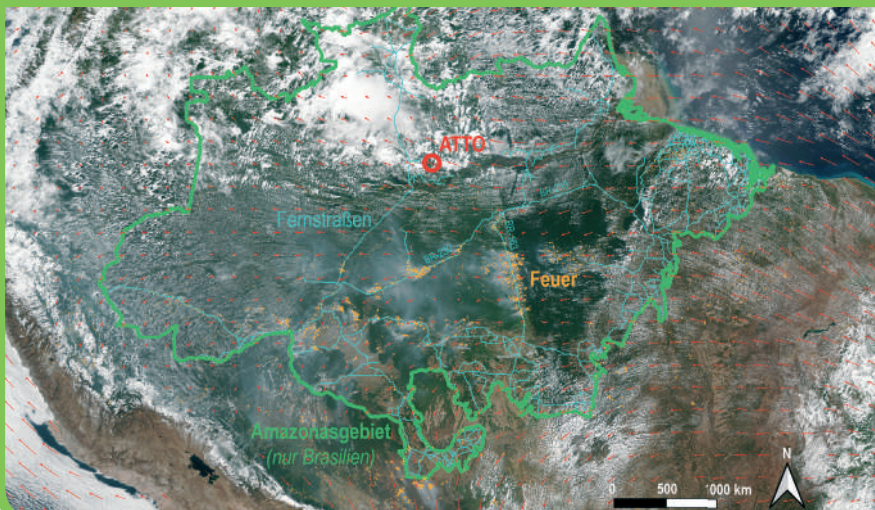
Mithilfe von ATTO untersuchen Pöhlker und seine Kollegen die Wolkenbildung unter verschiedenen Bedingungen: Hoch über dem Blätterdach werden die Messgeräte von Luftmassen umströmt, die aus unterschiedlichen Regionen des Landes hergetragen wurden. Mithilfe von ausgeklügelten Computermodellen lässt sich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

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.

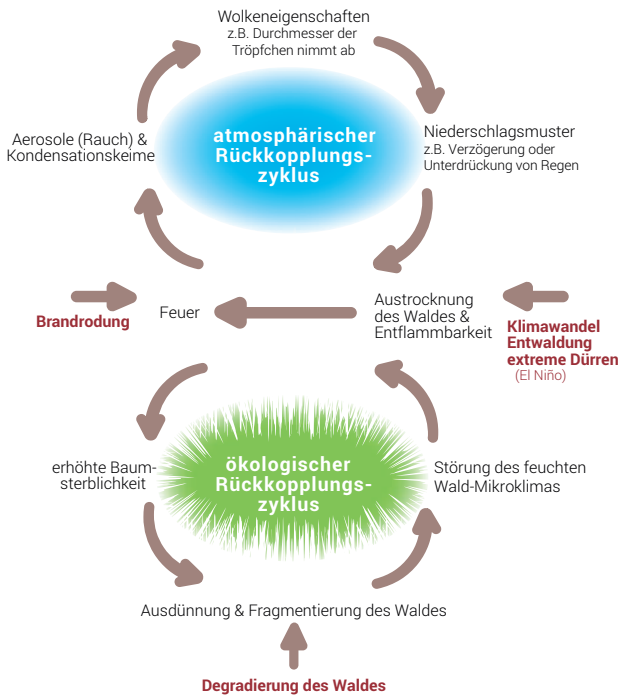
„Dieser Mechanismus ist einer von mehreren menschengemachten Einflüssen, die – nach allem was wir heute wissen – eine Austrocknungstendenz des Regenwalds verstärken“, sagt Christopher Pöhlker. „Dies wiederum erhöht die Entflammbarkeit des Waldes und damit die Zahl und Intensität der Amazonasfeuer. Weil 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 entziehen. Die genaue Funktionsweise dieser Rückkopplungs-

Abb. C: SATELLITENBILD DES AMAZONASBECKENS MIT FEUERKARTE FÜR DEN 12. AUGUST 2019



Im Amazonasgebiet brennt es während der gesamten Trockenzeit (August bis November). Im August 2019 war die Hauptphase der Amazonasbrände, die weltweit große Besorgnis in der Öffentlichkeit und Politik ausgelöst haben. Die Karte zeigt Feuercluster entlang der großen Fernstraßen durch das Amazonasgebiet, insbesondere der BR-230 („Transamazonica“) und BR-163 („Soja-Highway“). Das Windfeld (rote Pfeile) macht die Verbreitung des Rauchs sichtbar, der über weite Distanzen transportiert wurde und Atmosphärenprozesse in der gesamten Region beeinflusste. Die Rauchwolken gelangten regelmäßig auch zur ATTO-Station und riefen dort starke Ausschläge in den atmosphärischen Messreihen hervor.

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.

zyklen 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 Forscher darauf schließen, wie wesentliche Teile des Weltklimasystems, insbesondere die Wolken, auf die vielfältigen menschlichen Eingriffe reagieren.

Neue 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, intakte Waldflächen zu schützen. Eine Besserung der Lage ist aktuell jedoch nicht in Sicht – im Gegenteil: Brasiliens Präsident Jair Bolsonaro ist eng mit der Agrarlobby verbunden und plant, die wirtschaftliche Ausbeutung des Amazonasbeckens massiv voranzutreiben. Dafür will er auch Schutzgebiete freigeben. Unter seiner Regierung hat die Entwaldung dramatisch zugenommen. Dennoch sieht Christopher Pöhlker die Verantwortung für die Zerstörung nicht allein bei den Südamerikanern: „Es ist zu einfach, nur nach Brasilien zu zeigen und die Situation zu beklagen. 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.“ Der weltweit hohe Fleischkonsum ist Teil des Problems. 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.“

Schlüsselbegriffe

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

Lese-Tipps

- *Thomas Fatheuer: Amazonien heute – Eine Region zwischen Entwicklung, Zerstörung und Klimaschutz. Band 46 der Schriftenreihe Ökologie, Heinrich-Böll-Stiftung (2019)*
www.mpg.de/g241 > pdf
- *Spektrum Kompakt: Feuer – Wenn Wälder brennen*
www.mpg.de/g242



Link-Tipps

- *ATTO-Projekt (in Englisch)*
www.mpg.de/g243 >
- *Global Forest Watch (in Englisch)*
www.mpg.de/g244



Video-Tipps

- *Waldbrände im Amazonas-Regenwald*
www.mpg.de/g245 > YouTube
- *Brasilien: Die Amazonas-Autobahn*
www.mpg.de/g246 > YouTube



www.maxwissen.de

der Link zur Forschung
für Lernende und Lehrkräfte



Hier finden Sie Hintergrundinformationen und Materialien für den Unterricht zu den Ausgaben von **BIOMAX**, **GEOMAX** und **TECHMAX**. Weitere Exemplare können Sie kostenlos bestellen unter: www.maxwissen.de/heftbestellung.

CC-Lizenztexte finden Sie unter <https://creativecommons.org/licenses> und im Detail bei den einzelnen Heften auf der Webseite www.maxwissen.de.

