AUSGABE 3
WINTER
2001

GEO MAX

NEUGIERIG AUF WISSENSCHAFT

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Spiel mit dem Feuer –

warum Waldbrände die Wissenschaft anheizen

Zwischen September 1997 und Mai 1998 stand halb Südostasien in Flammen – so jedenfalls berichteten die Zeitungen: "Verheerende Brände – Nicht die Natur, der Mensch zerstört den Urwald" – "Die Brände verstärken den Treibhauseffekt" oder "Smog immer dichter. Evakuierung geplant" lauteten die Schlagzeilen. Tatsächlich brannten allein in Indonesien etwa 10 Millionen Hektar Wald unkontrolliert oder wurden vorsätzlich abgebrannt. Das entspricht einer Fläche, die so groß ist wie die gesamte Waldfläche Deutschlands. Mehr als 40 Millionen Menschen in Indonesien, Malaysia und Singapur litten zum Teil wochenlang unter dem beißenden Qualm. Rund 500 Menschen starben, weil wegen schlechter Sicht Flugzeuge abstürzten und Schiffe strandeten. Doch was damals vielen als Umweltkatastrophe ohnegleichen erschien, war gar nicht so ungewöhnlich. Jedes Jahr brennen in den Tropen und Subtropen schätzungsweise 30 bis 50 Millionen Hektar Wald. 1997 jedoch hatte El Niño das Land so stark ausgetrocknet, dass die Flammen besonders leichtes Spiel hatten. Zudem blieb der Monsun aus – die Rauchschwaden wurden nicht wie sonst rasch verdünnt und fort geweht, sondern blieben wie eine Dunstglocke über Südostasien hängen.

riesige Flächen erst kahl geschlagen, dann angezündet. So entsteht Raum für Plantagen, auf denen vor allem Ölpalmen angebaut werden. Darüber hinaus werden durch Blitzschlag oder vorsätzlich gelegte Feuer die trockenen, so genannten Monsunwälder auf mehreren Millionen Hektar Fläche entzündet. Und schließlich verbrennen die Bauern in Südostasien nach der Ernte riesige Mengen Reisstroh und andere pflanzliche Abfälle auf ihren Feldern. 1997 gerieten viele dieser "normalen" Feuer außer Kontrolle. Erst der im Mai 1998 einsetzende Regen beendete die Feuersbrunst. "Die Feuer- und Rauchkrise in Südostasien hat gezeigt, dass politische Entscheidungen oder Maßnahmen der Vorbeugung und Bewältigung solcher Feuer- und Rauchkatastrophen seinerzeit nicht wirksam waren," resümiert Johann Georg Goldammer, einer der weltweit führenden Feuerökologen vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz. Mit seiner Arbeitsgruppe untersucht er nicht nur die Ursachen und Auswirkungen von Vegetationsbränden auf der ganzen Welt, sondern berät und unterstützt vor allem auch Entwicklungsländer bei Fragen des Feuermanagements. →

GEDULDETE BRANDSTIFTUNG

Auch die Auslöser der Brände sind jedes Jahr die selben: In vielen Ländern Südostasiens werden – zum großen Teil mit Genehmigung oder Tolerierung der Regierungen –

A ▲ Großfeuer auf der Waldinsel Bor in der Region Krasnoyarsk (Sibirien). Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Chemie legten dieses Feuer gezielt, um die Auswirkungen auf das Ökosystem des borealen Waldes und auf die Atmosphäre untersuchen zu können.

➔

Nicht erst in der Neuzeit hat der Mensch angefangen, Büsche und Bäume abzubrennen. In Afrika nutzten die Vorfahren der heutigen Bewohner Feuer bereits vor 1,5 Millionen Jahren – zunächst, um freie Flächen zu schaffen, damit sie dort Wildtiere jagen konnten, später, um **Wanderfeldbau** zu betreiben. Bis heute ist diese Art der Nutzung von Feuer in den Tropenländern Afrikas, Asiens und Südamerikas weit verbreitet: Ein Stück Wald oder Savanne wird niedergebrannt, die meist kargen Böden für wenige Jahre bewirtschaftet und dann wieder sich selbst überlassen. Die Natur kann sie nun zurückerobern. Allerdings schätzt die Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (FAO), dass in den Tropen jedes Jahr zwischen 10 und 20 Millionen Hektar Wald nur durch den Wanderfeldbau und andere Landnutzungsänderungen auf Dauer zerstört werden. Relativ betrachtet spielen natürliche Feuer – ausgelöst durch Blitzschlag oder Vulkanausbrüche – eine immer geringere Rolle. Bei solchen Vergleichen sind die Feuerökologen jedoch auf Schätzungen angewiesen; denn trotz erheblicher Fortschritte bei der Nutzung von Satelliten zur Erdbeobachtung, ist die weltweite, systematische Überwachung von Vegetationsbränden, einschließlich der Erfassung ihrer Ursachen und Auswirkungen, derzeit immer noch unvollständig. Diese Tatsache erschwert auch die Arbeit der Klimaforscher, die sich mit dem Kohlenstoff-Kreislauf beschäftigen. Sie interessieren sich gleichfalls für das Feuergeschehen auf der Erde: Wie viel Kohlenstoff gelangt jedes Jahr durch Brände in die Atmosphäre? Wie groß ist der Anteil, der dort verbleibt? und Wie viel Prozent werden wieder in nachwachsende Pflanzen "eingebaut"?, lauten ihre zentralen Fragen.

SMOGALARM ÜBER DEM URWALD

Pflanzliche Biomasse besteht durchschnittlich zu 45% ihres Trockengewichts aus Kohlenstoff. Sobald sie in Flammen aufgeht, entsteht vor allem Kohlendioxid (CO_2), eines der Treibhausgase, die für die weltweit steigenden Durchschnittstemperaturen verantwortlich gemacht werden. Diesen Effekt beobachten die Klimaforscher seit Beginn des vergangenen Jahrhunderts, als die Menschen anfingen, große Mengen Kohle und Öl zu verfeuern. Durch das Verbrennen von Biomasse gelangt, so schätzen Wissenschaftler, weltweit noch einmal halb so viel CO_2 in die Atmosphäre wie durch die Nutzung fossiler Brennstoffe; das entspräche etwa vier Milliarden Tonnen Kohlenstoff pro Jahr. Bei Schwelbränden, die insbesondere in Sumpfgebieten oder in Nadelwäldern entstehen, entweichen zusätzlich größere Mengen Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH_4) und andere Kohlenwasserstoffe, sowie Wasserstoff und organische Säuren. Letztere rieseln zum Teil als "saurer Regen" wieder auf die Erde herab. Durch photochemische Reaktionen entsteht aus Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Stickstoffoxiden (NO_x) unter anderem Ozon (O_3). In tropischen Regionen können in der bodennahen Troposphäre die Ozonkonzentrationen daher fern ab von jeglicher Zivilisation Werte erreichen, die mit dem Sommersmog in Industrieländern vergleichbar sind. Diese schädigen Menschen, Tiere und Pflanzen. Umgekehrt tragen Brände aber auch dazu bei, dass das Ozon in der Stratosphäre abgebaut und damit der "UV-Filter" der Erde zerstört wird. Vor allem brom- und chlorhaltige Kohlenwasserstoffe, die die Mainzer Forscher in erstaunlich hohen Konzentrationen während verschiedener Brände nachweisen konnten, sind dafür verantwortlich. Schließlich kann Feuer sogar verhindern, dass es regnet; denn die feinen Rauchpartikel (Aerosole) wirken als Wolken-Kondensationskeime: Bei gleicher Wasserdampfmenge entstehen durch ein "Überangebot" von Partikeln mehr Wassertröpfchen – es bildet sich Dunst anstelle von Regen. Darüber hinaus wird das Sonnenlicht von den Rauchpartikeln reflektiert, was zu einer Abkühlung auf der Erde führt. Computersimulationen zeigen: Gäbe es keine Vegetationsbrände, würde sich die globale Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche um etwa zwei Grad erhöhen.

FORSCHER PRÜFEN DIE BILANZ

Bei den vielfältigen und zum Teil gegensätzlichen Wirkungen von Feuer interessiert die Klimaforscher vor allem, ob es für Vegetationsbrände einen so genannten Nettotreibhauseffekt gibt, das heißt, ob sie zum weltweiten **Treibhauseffekt** beitragen. Für tropische Regenwälder, die bis zu 500 Tonnen pflanzlicher Biomasse pro Hektar umfassen, lässt sich diese Frage eindeutig beantworten: Hier wird nach Brandrodung der größte Teil des Kohlenstoffs in die Atmosphäre eingespeist und die Folgevegetation bindet vergleichsweise wenig Kohlenstoff – lediglich etwa zehn Tonnen Biomasse pro Hektar wachsen auf Grasländern nach. Diese Differenz von 490 Tonnen entspricht einem Verlust von 220 Tonnen Kohlenstoff, der in die Atmosphäre wandert oder in Form von Asche von den Waldböden weggeschwemmt wird. Anders sieht die **Kohlenstoffbilanz** für

▼ **Forscher messen Emissionen bei einem Feuerexperiment im Rahmen der „Southern Africa Fire-Atmosphere Research Initiative" (SAFARI) im südafrikanischen Krüger-Nationalpark.**

B

▲ **1) Unberührter, nicht brennbarer Regenwald; 2) Bodenfeuer nach Holzeinschlag; 3) Der gleiche Wald drei Jahre später; 4) Zustand der Regeneration nach einem Jahrzehnt; 5) Auswirkungen eines zweiten Feuers; 6) Schlussphase der Waldzerstörung durch Holzeinschlag und Wildfeuer – es ist eine unproduktive und artenarme Gras-Savanne entstanden.**

tropische Savannen aus. Ihre Fläche beträgt weltweit mehr als zwei Milliarden Hektar. Davon gehen jedes Jahr schätzungsweise mehrere hundert Millionen Hektar in Flammen auf. Es sind damit die größten Flächen, die regelmäßig abgebrannt werden, und dabei gelangen beträchtliche Mengen von Kohlenstoff in die Atmosphäre. Da die Savannenvegetation aber schnell nachwächst, ist die Kohlenstoffbilanz für stabile Savannenökosysteme ausgeglichen.

BRENNEN FÜR DIE WISSENSCHAFT

Trotzdem bewirken auch Savannenbrände erhebliche Veränderungen in der Atmosphäre. Mitte der 80er Jahre stellten Wissenschaftler erstmals mit Hilfe satellitengestützter Messungen fest, dass sich jedes Jahr große Mengen Ozon, Kohlenmonoxid und andere chemische Verbindungen in der Troposphäre über dem Südatlantik zwischen Südamerika und dem südlichen Afrika ansammelten. Als Ursache vermuteten sie die **Waldverbrennung** in der Amazonasregion und die Savannen- und Buschbrände in Afrika. Um diese Vermutungen zu bestätigen, bereiteten 150 Wissenschaftler aus 14 Ländern zwei Jahre lang ein gigantisches Feuerexperiment vor. Hinter der exotisch klingenden Abkürzung SAFARI verbirgt sich der Name "Southern Africa Fire-Atmosphere Research Initiative", die von den beiden Max-Planck-Wissenschaftlern Meinrat Andreae und Johann Georg Goldammer koordiniert wurde. Im September 1992 war es soweit: Die Forscher entzündeten mehrere kleine und zwei je etwa 2000 Hektar große Savannenflächen im südafrikanischen Krüger-Nationalpark. Meterhohe Flammen wurden vom Wind rasch über die Flächen getrieben. Etliche Parkwächter waren damit beschäftigt, die Feuer jenseits breiter Sicherheitsstreifen zu halten. Ein Teil der Forscher stellte sich mit Analysegeräten in den beißenden Qualm (Abbildung B), andere hatten zuvor ihre Messinstrumente im Boden eingegraben oder an hohen Türmen befestigt. Die Mainzer Wissenschaftler sammelten ihre Daten vor allem aus der Luft. Sie hatten eine Cessna sowie eine DC-3 gechartert und zu fliegenden Laboratorien umgerüstet. Die Konzentration zahlreicher gasförmiger und fester Stoffe über den in Brand gesetzten Flächen wurde erfasst. Hohe Werte ergaben sich für Ozon, Stickstoffoxide, Formaldehyd und feste Rauchpartikel über Südafrika, Zimbabwe, Zambia, Angola, Namibia und Botswana. Die Emissionen stammten nicht nur aus den SAFARI-Bränden, sondern auch aus Savannenfeuern, die zur gleichen Zeit in Zaire, Zambia, Angola und Tanzania brannten. Über dem Südatlantik erreichten die Schadstoffkonzentrationen tatsächlich Werte wie sie sonst nur über Europa und Nordamerika gemessen werden. Damit konnten die Forscher eindrucksvoll belegen, dass Vegetationsfeuer im südlichen Afrika erheblichen Einfluss auf die atmosphärische Umwelt und das Klima haben – ein Phänomen, das seit Hunderttausenden, ja vielleicht Millionen von Jahren besteht.

FEUERSTURM IN DER TAIGA

Aber nicht nur auf der südlichen Erdhalbkugel brennen regelmäßig große Flächen. Fast ein Drittel des weltweiten Waldbestandes – stolze 1,2 Milliarden Hektar – befinden sich in Russland, Nordamerika und Skandinavien. Und auch hier gehen jedes Jahr riesige Areale in Flammen auf. In Kanada und Alaska sind es jährlich 3 bis 7 Millionen Hektar Wald. Die meisten Brände entstehen durch Blitzschlag und werden nicht bekämpft, weil sie fern ab von besiedelten Gebieten liegen. Weit weniger Informationen existierten bis vor kurzem über Waldbrände in der russischen Taiga. In Sibirien startete Goldammer deshalb 1993 das Forschungsprogramm FIRESCAN ("Fire Research Campaign Asia-North"). Die Wissenschaftler entzündeten eine knapp 50 Hektar große Wald-"Insel" inmitten eines Sumpfgebiets (Abbildung A). 30 Forscher aus acht verschiedenen Ländern studierten die Auswirkungen des Brandes auf die Vegetation und erfassten die Emissionen mit Bodenmessstationen sowie von einem Hubschrauber aus. Die Ergebnisse: Ein großer Teil der "feuerharten" Bäume überlebte die Brände. Doch einige Monate danach setzte eine Massenvermehrung von Borkenkäfern und anderen holzzerstörenden Insekten ein, die diese Bäume zum Absterben brachten. Die Schwelbrände der Humusschicht setzten ungewöhnlich viel Methylbromid frei, das wesentlich am Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre beteiligt ist. Bisher waren die Forscher davon ausgegangen, dass dieses Gas nur aus den Ozeanen und bei der Zersetzung von Pestiziden frei wird. Ihre Berechnungen zeigten jedoch, dass bei Waldbränden jährlich bis zu 50.000 Tonnen Methylbromid entstehen, was etwa der Menge entspricht, die aus Ozeanen und Pestiziden stammt. Schließlich entdeckten die Forscher, dass bis zu 15 Prozent des während des Feuers freigesetzten Kohlenstoffs in Holzkohle, so genannten "schwarzen Kohlenstoff", verwandelt wird und nicht als CO_2 in die Atmosphäre entweicht. Langfristig kann durch Waldbrände daher der Atmosphäre auch CO_2 entzogen werden, vorausgesetzt es wächst neuer Wald nach.

HEISSE KEIMHILFE

Die Vegetation typischer "Feuerlandschaften" hat sich längst an regelmäßige Brände angepasst – und profitiert sogar davon. In den südafrikanischen *Fynbos* beispielsweise, einer sehr artenreichen Pflanzengesellschaft mit mediterranem Charakter, brennt es alle 30 bis 50 Jahre. Die Feuerintervalle werden gegebenenfalls sogar mit Hilfe kontrollierter Brände aufrecht erhalten, da viele Pflanzen

→
Seite 3

➔

das Feuer zur Regeneration brauchen. So setzen verschiedene Samenkapseln ihren wertvollen Inhalt erst nach einem Feuer frei; andere Samen warten "schlafend" im Boden bis die durch das Feuer erhöhten Bodentemperaturen sie zum Keimen bringen. Gerade durch den regelmäßigen Einfluss von Feuer existiert dort also eine große **Artenvielfalt**. Selbst in den intensiv bewirtschafteten Wäldern Nordamerikas wird jährlich auf zwei Millionen Hektar Feuer gelegt; in vielen Nationalparks werden durch Blitzschlag ausgelöste Brände nicht gelöscht. Diese regelmäßig auftretenden Bodenfeuer haben eine stabilisierende und regulative Funktion: Je öfter sie ungehindert brennen können, desto weniger abgestorbene pflanzliche Biomasse sammelt sich zwischendurch an und desto geringer ist wiederum die Intensität der Brände. Außerdem schafft die Natur damit Platz für junge Bäume und hält die Zahl der Schädlinge in Grenzen (Abbildung C). Manche Baumarten, wie verschiedene nordamerikanische oder australische Kiefern- und Eukalyptus-Arten, sind regelrecht abhängig vom Feuer. Sie können, wie bei den Sträuchern der südafrikanischen *Fynbos*, ihre in Zapfen oder Kapseln eingeschlossenen Samen erst freisetzen, wenn extreme Hitze die Samenbehälter gesprengt hat.

Vergleichbares gilt übrigens auch für Mitteleuropa. Die Artenvielfalt kann auf intensiv bewirtschafteten und regelmäßig geflämmten Brachen in Deutschland wesentlich größer sein als auf solchen, die sich selbst überlassen bleiben. Die Feuerökologen des Max-Planck-Instituts für Chemie plädieren deshalb dafür, auch in Deutschland verschiedene Formen der **Brandwirtschaft** wieder zuzulassen, die bis etwa Mitte des 20. Jahrhunderts praktiziert, dann aber verboten wurden. Derzeit untersuchen Johann Georg Goldammer und seine Mitarbeiter, wie sich das kontrollierte Brennen von Bracheflächen in den Weinbaugebieten des Kaiserstuhls auf die Vegetation und die Landschaft auswirkt. Übrigens: Bezüglich ihres Einflusses auf das Klima schneiden mechanische Pflegemaßnahmen wie Mulchen oder Mähen mit Maschinen in der Landwirtschaft unter Umständen schlechter ab als die Brandwirtschaft. Schließlich verschlingen sie in der Regel fossile Brennstoffe und verstärken so den Treibhauseffekt.

▼ **Dieses Foto, aufgenommen vom Space Shuttle, zeigt Brandrodung in einem Bergmassiv in Äthiopien. Derartige gelegentliche photographische Dokumentationen aus dem Weltraum veranschaulichen das Auftreten und die Auswirkungen von Feuer besonders gut.**

E

Quelle: NASA

▲ **Mitten im indonesischen Borneo steht eine Empfangsstation für Satellitendaten, die von Mitarbeitern der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und des Max-Planck-Instituts für Chemie betreut wird. Mit Hilfe der Satellitendaten werden täglich Lagebilder erstellt, die Waldbrände und Landnutzungsfeuer zeigen (rote Punkte). Die hier abgebildete Karte zeigt die Situation am 29. August 2001.**

FIRE FIGHTERS IM NETZ

1998 gründeten die Mainzer Feuerökologen an einer Außenstelle der Universität Freiburg das **Zentrum für Globale Feuerüberwachung** (Global Fire Monitoring Center – GFMC). Um große Vegetationsbrände weltweit noch genauer analysieren zu können und um den **Katastrophenschutz** zu verbessern, sammeln Goldammer und seine Kollegen seitdem täglich entsprechende Satellitendaten. Sie entschlüsseln die Daten und erstellen daraus Landkarten, die genau zeigen, wo es gerade brennt (Abbildung D). Diese Karten werden mehrfach pro Woche aktualisiert, archiviert und ins Internet gestellt. Damit entsteht das erste weltweite Archiv für Feuerdaten, das nicht nur von Wissenschaftlern eifrig genutzt wird. Kurz nach Gründung des GFMC erhielt Johann Georg Goldammer beispielsweise einen Anruf aus Äthiopien. Der Landwirtschaftminister schilderte ihm, dass nach drei Jahren Dürre im Süden des Landes große Feuer ausgebrochen und außer Kontrolle geraten seien (Abbildung E), und er bat den Experten um Rat bei der Bekämpfung. Nach einer Lagebeurteilung vor Ort und einem Aufruf an sachkundige Kollegen und Dienststellen in aller Welt koordinierte Goldammer den Einsatz von zeitweise knapp 80.000 *Fire Fighters* – vor allem äthiopische Soldaten, Studenten und Bewohner der betroffenen Dörfer. Über das Internet informierte das "globale Lagezentrum" die Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit täglich über die aktuelle Situation vor Ort. Das Ergebnis: Bereits nach einem Monat waren die Feuer unter Kontrolle. Mittlerweile haben auch die Vereinten Nationen die Notwendigkeit erkannt, große Feuerkatastrophen in den Ländern, die keine oder nur beschränkte eigene Kapazitäten zur Verfügung haben, mit internationaler Unterstützung zu bekämpfen. Zum Internationalen Tag für Katastrophenvorsorge 2001 wurde das GFMC von den Vereinten Nationen mit einem Preis ausgezeichnet.

Schlagwörter: Wanderfeldbau, Brandrodung/Waldverbrennung, Treibhauseffekt, Kohlenstoffbilanz, Folgevegetation, Artenvielfalt, Brandwirtschaft, Katastrophenschutz

Lesetipps: Goldammer, J.G. 1994. *Feuerökologie.* Spektrum der Wissenschaft 7/1994; Graedel, T. E. und Crutzen, P. J. 1996. *Atmosphäre im Wandel. Die empfindliche Lufthülle unseres Planeten.* Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg; Goldammer, J.G., Prüter, J. und Page, H. 1997. *Feuereinsatz im Naturschutz in Mitteleuropa.* Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Schneverdingen, NNA-Berichte 10, Heft 5.

Internet: http://www.forst.uni-freiburg.de/feueroekologie/ und www.uni-freiburg.de/fireglobe

BIOMAX - GEOMAX
auch unter www.mpg.de
BIOMAX und GEOMAX erscheinen jeweils zweimal im Jahr. In dieser Reihe bereitet die Max-Planck-Gesellschaft aktuelle Forschungsergebnisse aus ihren Instituten vor allem für Lehrer und Schüler auf.

Redaktion: Dr. Christina Beck I Text: Ute Hänsler I Gestaltung: www.haak-nakat.de I Weitere Exemplare können Sie kostenlos anfordern: Max-Planck-Gesellschaft, Referat für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Hofgartenstraße 8, 80539 München, e-mail: presse@mpg.gv.mpg.de