

# Brennende Regenwälder

Torfwaldbrände in Indonesien setzen ungeheure Mengen des Treibhausgases Kohlendioxid frei. Eingriffe des Menschen sind schuld, dass diese Wälder neuerdings brennen.

Von Florian Siegert

Vor einigen Jahren druckten die Zeitungen Fotos von den Straßen Singapurs und Jakartas, wo die Menschen mit Atemmasken herumliefen. Dichter Qualm hüllte damals Indonesien und Malaysia monatelang ein. Die Rauchwolke reichte bis nach Thailand, Nordaustralien und Papua-Neuguinea.

Ursache war die größte jemals in Asien beobachtete Feuerkatastrophe. Auf Borneo, Sumatra und Neuguinea brannten die Regenwälder. Nach einer Schät-

zung der Asien Development Bank gingen in jenen Jahren 1997 und 1998 rund 10 Millionen Hektar, eine Fläche doppelt so groß wie die Schweiz, großenteils in Flammen auf.

Dabei gelangten ungeheure Mengen des Treibhausgases Kohlendioxid in die Atmosphäre. Ein bedeutender Teil der indonesischen Wälder wächst auf mächtigen Torfflözen, in denen große Mengen Kohlenstoff gespeichert sind. Besonders diese Gebiete hatten damals Feuer gefangen. Die Riesenbrände dieser Torfwälder verstärken den globalen Treibhauseffekt messbar.

15 Jahre zuvor, 1982/83, hatten sich schon einmal – wohl erstmals seit Menschengedenken – riesige Feuersbrünste durch die indonesischen Urwälder gefressen. Damals suchten sie den indonesischen Teil Borneos (Kalimantan) heim, die drittgrößte Insel der Erde. In der indonesischen Provinz Ost-Kalimantan brannte eine Fläche von über 3 Millionen Hektar. Die Hälfte davon war Wald. Wie wir heute wissen, verschuldete letztlich der Mensch beide Katastrophen, die in solcher Größenordnung früher nicht vorkamen. Doch in Zukunft drohen sich ähnlich verheerende Feuer zu wiederholen, womöglich in noch größerem Ausmaß – solange die Verantwortlichen dem nicht entgegensteuern.

◀ In den ausgetrockneten Torfsumpfwäldern Indonesiens verbrannte der Torf 1997/98 bis zu zwei Meter tief. Die schwelenden Bodenfeuer erzeugten gewaltige Rauchmengen.

Aber 1997/98 schoben Behörden, Wissenschaftler und Medien die Hauptschuld zunächst auf das extreme El Niño-Jahr. Das Klimaphänomen El Niño entsteht durch großräumige Verschiebungen von warmen und kalten Meeresströmungen im Südpazifik. Dabei treten in manchen sonst niederschlagsarmen Gegenden rund um den Südpazifik massive Regenfälle auf. In anderen bleiben die gewohnten Monsunregen weitgehend aus, so auch in Indonesien.

Das Inselreich erlebte 1997/98 einen besonders ausgeprägten El Niño. Die Trockenzeit, die auf unsere Sommermonate fällt, setzte 1997 zwei Monate früher ein als sonst. Zudem begann die Regenzeit statt Mitte Oktober erst Mitte November. Diesmal war sie außerdem ungewöhnlich schwach und kurz. Schon nach zwei Monaten hörten die Niederschläge auf. Erst im Mai 1998 regnete es wieder stark. Bereits 1997 und dann nochmals in den ersten Monaten des folgenden Jahres wüteten die Waldbrände. Im zweiten Halbjahr 1997 verwüsteten sie Wälder auf Sumatra und Irian Jaya (Westpapua) sowie auf Borneo insbesondere die indonesische Provinz Zentral-Kalimantan. Im ersten Halbjahr 1998 wüteten die Feuer ausschließlich in der Provinz Ost-Kalimantan. Insgesamt brannten die indonesischen Wälder fast zehn Monate lang.

Um die Hintergründe für diese Katastrophen und deren klimatische Folgen zu klären, hat eine Gruppe indonesischer und europäischer Wissenschaftler, zu der ich gehörte, im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), der Europäischen Raumfahrtagentur (Esa) und für die Europäische



FLORIAN SIEGERT

Kommission mehrere Forschungsprojekte durchgeführt. Wir wollten herausfinden, wieso neuerdings in ausgeprägten El-Niño-Jahren indonesische Regenwälder in Flammen aufgehen. Schließlich existiert das Wetterphänomen seit vielen Jahrtausenden. Auch interessierten sich Klimatologen dafür, wie viel Pflanzenmaterial in jenen Monaten verbrannte und welche Mengen des Treibhausgases Kohlendioxid dabei in die Atmosphäre gelangten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen fanden in englischsprachigen Medien sofort große Resonanz, in deutschsprachigen leider bisher wenig.

### Satellitendaten zur Schadensanalyse

Wir haben einerseits die Verhältnisse vor Ort untersucht, andererseits insbesondere Satellitenaufnahmen von verschiedenen europäischen und amerikanischen Satellitensystemen von Phasen vor, während und nach den Bränden von 1997/98 ausgewertet. Hierbei konzentrierten wir uns auf zwei große Brandgebiete in Zentral- und Ost-Kalimantan (siehe Karte Seite 26 unten), weil sich die Waldbrände in diesen beiden Regionen in Ursache und Wirkung deutlich unterscheiden.

Erst die Satellitendaten ermöglichten einen Überblick über das Ausmaß der

Schäden. Die Provinz Zentral-Kalimantan weist bei einer Fläche der Größe Bayerns nur etwa tausend Kilometer Straßen auf. Und von den Flüssen aus, die das eigentliche Verkehrsnetz bilden, kann man dort in den Urwald fast nicht vordringen. Dicht am Wasser aber hatten die Pflanzen wenig gebrannt. Vom Boot aus erschien der Wald oft völlig intakt, auch wenn er wenige Kilometer weiter innen komplett vernichtet war.

Normalerweise dürfte ein tropischer Regenwald schon wegen der Nässe, die in ihm steckt, nicht brennen. Selbst in Trockenzeiten hält das Blätterdach, das kaum einen Sonnenstrahl durchlässt, alles unter sich feucht. Auch zersetzt sich totes pflanzliches Material in dem stets warmen und feuchten Mikroklima rasch, sodass äußerst wenig leicht entflammbares Holz oder Laub vorhanden sind.

Dass Feuer, anders als etwa in gemäßigten Zonen, nicht Teil der natürlichen Ökologie von Tropenwäldern sind, zeigt sich auch an den fehlenden Anpassungen der Vegetation. Viele Bäume gemäßigter Breiten widerstehen mit ihrer dicken Borke den Flammen. Oft benötigen ihre Samen die Hitze sogar zur Keimung. Tropenbäume haben meist nur eine sehr dünne Rinde. Sie verbrennen

▲ Bis in die Klassenzimmer drang der Rauch der indonesischen Waldbrände vor, wie hier in einer Schule auf Sumatra. Die Gesundheitsschäden gingen in die Milliarden.

in den Flammen. Auch ihre Samen gehen zu Grunde.

Zur ökologischen Bestandsaufnahme verwendeten wir Bilder des amerikanischen Landsat-Satelliten. Er liefert seit mehr als zwanzig Jahren Farbbilder der Erdoberfläche mit dreißig Metern räumlicher Auflösung. Wie diese Bilder erkennen lassen, stellt das gesamte Tiefland Zentral-Kalimantans ursprünglich ein riesiges, bewaldetes Torfmoor dar, einen Torfsumpfwald, also ein besonders nasses Ökosystem. An der Küste säumen diesen Regenwald Mangroven – an Salz- oder Brackwasser angepasste Wälder – und erst etwa 150 Kilometer tiefer im Innern, wo das Land anzusteigen beginnt, geht er in einen typischen Tieflandregenwald über.

Natürlicherweise ist der Boden dieser tropischen Torfwälder alljährlich ein paar Monate überschwemmt. Die Dajaks, die von den europäischen Kolonisatoren und ▶

▷ Forschungsreisenden als Kopffäger gefürchtete Urbevölkerung, besiedelten diesen Wald nicht, weil der Boden zu feucht und unfruchtbar ist. Auch die holländischen Kolonialherren konnten nur kleine Areale durch ein ausgeklügeltes Be- und Entwässerungssystem landwirtschaftlich nutzbar machen. Noch bis vor zwanzig Jahren zeigte sich dieses nasse, moorige Tiefland auf Satellitenbildern zum allergrößten Teil als völlig ungestörter Urwald. Höchstens entlang der Küste und der größeren Flüsse zeichneten sich vereinzelte Dörfer ab.

**Folgen des Raubbaus**

Wie neuere Landsat-Aufnahmen zeigen, hat der Mensch die Torfwaldgebiete stark dezimiert. Die Auswertung einer Bildserie von 1991 bis 1997 ergab, dass in diesem Zeitraum in Zentral-Kalimantan pro Jahr durchschnittlich 2,3 Prozent des Torfsumpfwalds vernichtet wurden. Seither stieg der Raubbau sogar auf drei Prozent pro Jahr.

Solche zerstörten, ungenutzten Flächen verbuschen oder – schlimmer noch – veröden, falls sie wieder verbrennen, zu einem artenarmen Gras-Farn-Ökosystem, in dem Wald von allein nicht wieder hochkommen kann. Der Anteil karger Gras- und Buschvegetation

war in den wenigen Jahren um 437 Prozent gestiegen, während die landwirtschaftlich genutzte Fläche im gleichen Zeitraum nur um sieben Prozent (21 000 Hektar) zunahm. Ein großer Teil der verbliebenen Sumpfwaldfläche war durch Holzeinschlag gestört: Konzessionäre öffneten siebzig Prozent der Waldfläche, indem sie Schneisen schlugen, einzelne Bäume herausholten und dadurch Lichtungen schufen. So verlor der Wald in regenarmen Monaten viel Feuchtigkeit, weil die Sonne den Boden und nachwachsende Jungpflanzen ausdörrte.

Noch gravierender wirkte sich Mitte der 1990er Jahre ein politisches Prestigeprojekt des langjährigen, inzwischen abgetretenen indonesischen Präsidenten Ibrahim Suharto aus. Der Diktator entschied damals, eine Million Hektar Urwald für Reisfelder roden zu lassen, und wählte dafür ausgerechnet die für den Zweck völlig ungeeigneten Torfsumpfwälder Zentral-Kalimantans aus. Binnen eines Jahres ließ er kreuz und quer durch das Gebiet über 4400 Kilometer Entwässerungskanäle graben. Nur wurden die geplanten Schleusen nie fertig gestellt. Dadurch sank der Wasserspiegel in den Torfwäldern während der El-Niño-Trockenheit innerhalb weniger Monate um ein bis zwei Meter. In der Folge starben

wegen Wassermangel und Übersäuerung viele Bäume ab.

Als dann auf Grund des El Niño der Regen ausblieb, war die Katastrophe vorprogrammiert. Vorzeichen für ein schweres El-Niño-Jahr nahmen die Behörden nicht ernst und gaben keine Warnungen heraus. Traditionell nutzen die indonesischen Bauern die Trockenzeiten, um mittels Brandrodung neue Ackerflächen zu gewinnen. Die Brände, die zur Rodung für das Reisprojekt gelegt wurden, gerieten außer Kontrolle und breiteten sich schnell in den trockengelegten Torfgebieten aus. Hinzu kam, dass skrupellose Unternehmer die extreme Trockenheit als besonders gute Gelegenheit wahrnahmen, um mittels Feuer schnell und kostengünstig Land für neue Plantagen zu roden.

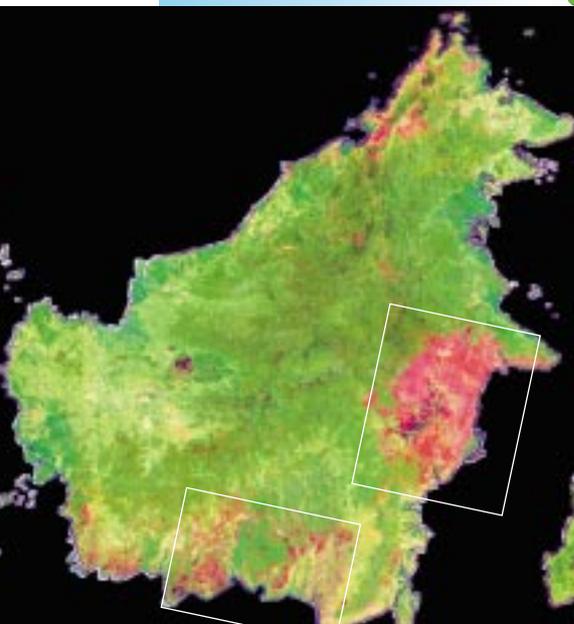
**Von der Tradition zur unverantwortlichen Brandrodung**

Die Feuer erreichten gewaltige Ausmaße und drangen auch in intakte Torfwälder ein. Sie zerstörten nicht nur die üppige Waldvegetation, sie fraßen sich auch durch die Torfflöze und setzten dadurch riesige Mengen Rauch frei, der schließlich fast ganz Südostasien bedeckte und den Menschen in entfernten Großstädten wie Singapur und Kuala Lumpur gesundheitlich schwer zu schaffen machte.

Uns interessierte besonders, wie viel Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) durch diese gewaltigen Torfbrände freigesetzt wurde und inwieweit diese Katastrophe zur Erderwärmung beiträgt. Torf ist ja die Vorstufe zu Kohle, also fossile Biomasse, deren Kohlenstoffanteil durch Verbrennung in Form von CO<sub>2</sub> und anderen Gasen in die Atmosphäre gelangt.

Auch hier lieferte die Satellitenfernerkundung die notwendigen Daten. Wichtigste Größen waren die Brandfläche sowie das verbrannte Material. Denn zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes macht es einen Unterschied um den Faktor zehn bis tausend, ob Gras, Wald oder Torf verbrannt sind. Zur exakten Ermittlung der Brandfläche mussten wir Daten von drei verschiedenen Satellitensystemen auswerten. Wir nutzten einerseits Landsat-Daten. Da der Landsat-Satellit das gleiche Gebiet der Erdoberfläche nur alle 16 Tage aufnimmt, erhielten wir erst ein halbes Jahr nach den Bränden eine brauchbare Aufnahme (Bild Seite 29 unten). Zuerst versperrte dichter Rauch die Sicht, dann dicke Regenwolken, und da-

OBEN: THOMAS BRAUN / SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT  
UNTEN: JOINT RESEARCH CENTER, HANS-JÜRGEN STIEBIG



▲ Die Rauchwolke von den indonesischen Waldbränden 1997/98 reichte weit über Indonesien hinaus. Sie erstreckte sich über mehr als 2000 mal 4000 Kilometer. Der Qualm wälzte die Menschen monatelang. Das wolkenfreie Mosaik links von der Insel Borneo entstand aus SPOT-VEGETATION-Satellitendaten aus dem Jahr 1998. Die Brandflächen erscheinen rot. Eingezeichnet sind die Untersuchungsgebiete in Zentral- und Ost-Kalimantan.

### Einzigartiges Ökosystem

**In Indonesien finden sich die größten Torfwaldgebiete** weltweit. Sie bedecken etwa zehn Prozent der Landesfläche (rund 20 Millionen Hektar). Auf Torf wachsende Wälder sind als Ökosystem kaum bekannt und wissenschaftlich wenig erforscht. Erstaunlich ist, dass auf diesen viele Meter dicken Torflagern Wälder wachsen, deren Bäume bis fünfzig Meter hoch werden können. Torf ist ein extrem nährstoffarmes, fast lebensfeindliches Bodensubstrat. Nur spezialisierte Pflanzen können dort überleben und gedeihen. Daher ist die Vegetation im Torfsumpfwald einzigartig.

**Die Artenvielfalt** ist mit bis zu 120 Baumarten pro Hektar nicht so hoch wie im Tieflandregenwald, jedoch wesentlich höher als in den Wäldern der gemäßigten Breiten. Typisch ist eine Vielfalt Fleisch fressender Kannenpflanzen, die hier wegen der Nährstoffarmut ideale Bedingungen finden. In den letzten Jahren wurden in Borneo die Torfwälder Zentral-Kalimantans letztes Rückzugsgebiet für den Orang-Utan.

Viele der Kenntnisse über diesen Waldtyp hat erst Jack Rieley von der Universität Nottingham (England) in den letzten acht Jahren gewonnen, der in unserem Team mitarbeitet. Er bestimmte zusammen mit Kollegen durch Bohrungen Dicke und Alter der Torfflöze in Südborneo. Sie reichen mancherorts bis zu 18 Meter tief. Rieleys Radiokarbonmessungen zeigten, dass sich die Torflager in den letzten 20 000 Jahren gebildet haben. Dabei wurden riesige Mengen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) fixiert.



FLORIAN SIEBERT

▲ **Torfsumpfwälder sind in der Regenzeit oft überflutet, was die Torfbildung fördert. Auf den nährstoffarmen Böden überleben nur spezialisierte Tier- und Pflanzenarten.**

Ursachen für die Torfbildung in der Sundaschelf-Region sind ein extrem geringes Gefälle des Geländes, der ansteigende Meeresspiegel nach der letzten Eiszeit und die großen Wassermassen, welche die Flüsse aus dem Landesinneren in die Küstenebenen bringen. In der Regenzeit staut sich das Wasser und überflutet den Waldboden monatelang.

nach verhinderte ein dichter Pflanzenwuchs die Erkennung der Brandflächen. Deshalb nutzten wir zusätzlich Daten des europäischen Radarsatelliten ERS-2.

Wir entwickelten ein Verfahren, mit dem sich die Brandfläche anhand von unmittelbar vor und nach den Bränden aufgenommenen Radarbildern sehr genau ermitteln lässt. Es ist so sensitiv, dass man auch unterschiedliche Feuerschäden auseinander halten kann. Wenn zum Beispiel auf der Fläche eines Hektars nur ein Viertel aller Bäume verbrannt ist, so erhält man ein stärkeres Signal, als wenn mehr als die Hälfte der Vegetation vernichtet wurde. Mittels Radardaten, die während der Feuer aufgenommen wurden, kann man sogar die Ausbreitung und räumliche Dynamik der Waldbrände untersuchen.

Zur Kontrolle der Brandflächenkartierung verwendeten wir ein drittes Satellitensystem, den amerikanischen NOAA-AVHRR-Wettersatelliten. Die davon gewonnenen Informationen über aktiv brennende Feuer waren nützlich, um Trockenschäden auszuschließen, die

unter Umständen in den Landsat- oder ERS-Bildern mit Brandschäden verwechselt werden könnten.

#### Wenn Torfwald brennt

Die kombinierte Auswertung der Satellitendaten zeigte, dass in dem 2,4 Millionen Hektar großen Untersuchungsgebiet 32 Prozent (800 000 Hektar) der Fläche verbrannten. Die größten Schäden waren in unmittelbarer Nähe zu den Bewässerungskanälen erkennbar, während Gebiete mit intakter Hydrologie kaum brannten. Nach unserer Berechnung zerstörten die Feuer 51,3 Prozent des trockengelegten Gebiets. Außerhalb betrug der Anteil nur 19 Prozent.

Fast die Hälfte der Brandfläche waren Torfwälder, die zum Teil noch ungestört und zum Teil durch Holzfäller geöffnet waren. Der Rest betraf stark ausgelichtete, durch Feuer und Holzeinschlag massiv degradierte Wälder, Buschland oder landwirtschaftliche Flächen. Die Schadensanalyse innerhalb einer Vegetations- oder Nutzungsklasse lieferte ein eindeutiges Ergebnis: je gestörter der Wald durch

menschliche Eingriffe, desto größer die durch Feuer verursachten Schäden. Während nur vier Prozent von 217 000 Hektar des »primären«, also völlig ungestörten Torfsumpfwalds verbrannten, vernichtete Feuer dreißig Prozent von 1 020 000 Hektar der zuvor holzwirtschaftlich genutzten Torfsumpfwälder – und sogar mehr als siebzig Prozent der zuvor schon stark degradierten Wälder.

Dieses aus ökologischer Sicht ungemün wichtige Ergebnis konnten wir im Rahmen einer anderen von der GTZ geförderten Studie bestätigen. In der Provinz Ost-Kalimantan auf Borneo kartierten wir anhand von Radardaten die gesamte Brandfläche in der Provinz. Im Jahr 1998 verbrannten hier insgesamt 5,2 Millionen Hektar, das entspricht der Fläche der Schweiz. Die Aufnahmen des NOAA-Wettersatelliten zeigten zwischen Januar und April 1998 in ganz Ost-Kalimantan über 60 000 Brandherde.

Indem wir mit den Landsat-Daten die holzwirtschaftlich genutzten und die völlig ungestörten Wälder getrennt erfassen, konnten wir den Zusammen- ▷

▷ hang zwischen Holzeinschlag und Feuergefährdung aufzeigen: Nur dort, wo das Kronendach des Regenwalds durch Holzeinschlag geöffnet war, konnte das Feuer zerstörerische Kraft entwickeln. Wenn die Sonne den Waldboden erreicht, set-

zen sich Licht liebende Pionierpflanzen durch, die bei Dürre absterben und idealen Brennstoff darstellen. Zudem hinterlassen die Holzfäller tote Biomasse in Mengen. Von jedem eingeschlagenen Baum bleiben die gesamte Baumkrone

und die Brettwurzel ungenutzt zurück. Dieses Material trocknet mit der Zeit aus und liefert den Flammen noch mehr Nahrung. Ein geschlossenes Laubdach dagegen hält die Luft darunter immer feucht, die Bodenvegetation ist relativ

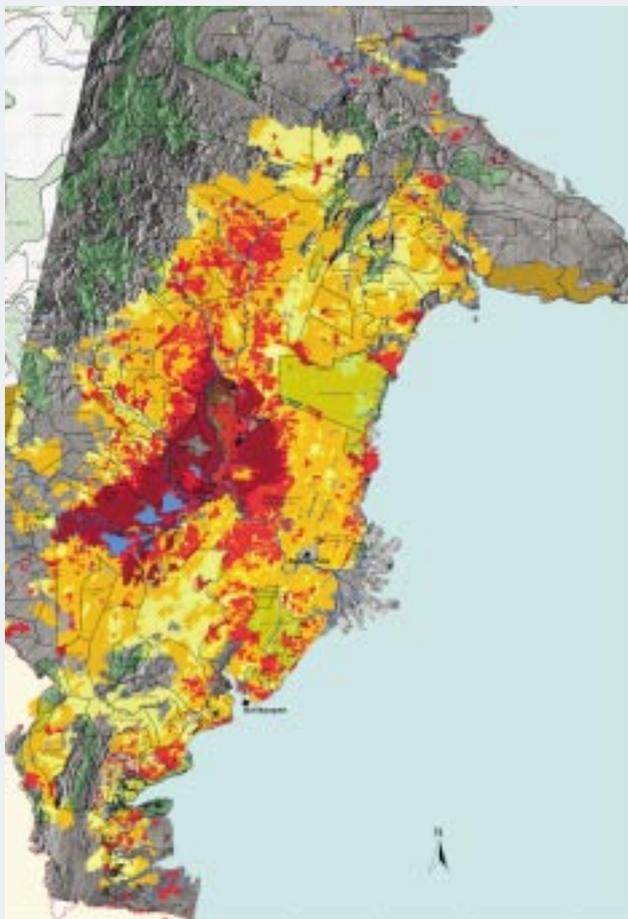
## Ökoforschung per Satellit

### Analyse der Waldbrände

**Die Erdbeobachtung mit Satelliten** wird bei ökologischen und klimatischen Untersuchungen immer wichtiger. Die hier vorgestellten Analysen stützen sich weitgehend auf Daten verschiedener Satellitensysteme, die wir auswerten und mit vor Ort gewonnenen Daten kombinierten. Wichtigste Datenquelle waren die multispektralen Farbbilder der amerikanischen Landsat-Satelliten TM 5 und 7. Sie haben dreißig Meter Auflösung am Boden und erlauben, die einzelnen Regenwaldarten sowie Bauplantagen, Ackerland und brachliegende Busch- und Grasflächen zu klassifizieren. Zur Brandzeit und in der heftigen Regenperiode danach verhinderten die Rauch- und Regenwolken brauchbare Landsat-Bilder. Deswegen zogen wir Daten von Radarsatelliten hinzu. Aus dem zurückgestreuten Anteil des Radarsignals lässt sich ein Bild der Erdoberfläche erstellen. Die Aufnahmen des europäischen Systems ERS 2 erreichen mittels spezieller Antennen bis zu 25 Meter Bodenauflösung.

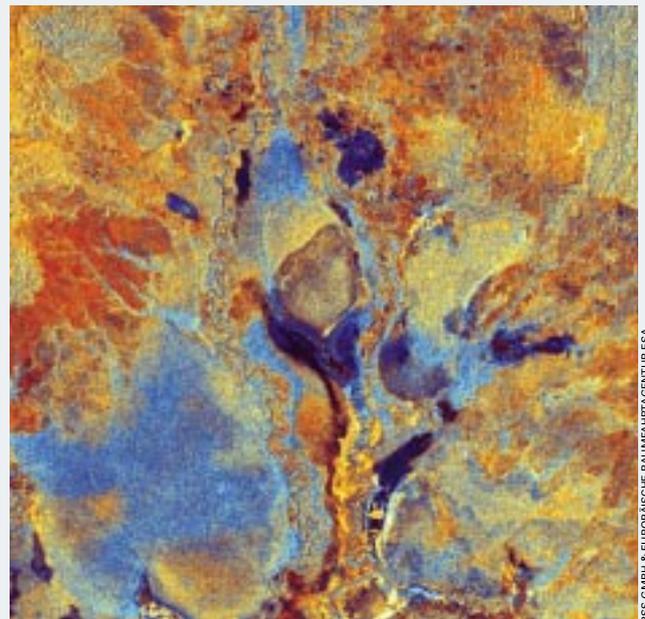
Sie können die Erdoberfläche zu jeder Tages- und Nachtzeit abbilden. Wolken und Rauch sind kein Hindernis. Mit Hilfe dieser Daten konnten wir Fläche und Dynamik der Brände bestimmen. Mit einer Vielzahl unterschiedlicher Instrumente bietet der im März 2002 gestartete Europäische Umweltsatellit Envisat noch wesentlich bessere Möglichkeiten.

**Des Weiteren nutzen wir Aufnahmen** des amerikanischen NOAA-Wettersatelliten, der täglich Bilder mit einem Kilometer Auflösung aufnimmt und auch Bodentemperaturen erfassen kann. Diese Daten hatte das indonesisch-deutsche Integrated Fire Management Project (IFFM) der GTZ mit Sitz in Samarinda (Ost-Kalimantan) aufgezeichnet. Die Bilder zeigen aktiv brennende Feuer. Anhand dieser fast täglich verfügbaren so genannten Hotspots lässt sich die zeitliche und räumliche Dynamik der Feuerausbreitung analysieren. Wir konnten mit Hilfe dieser Aufnahmen außerdem Verwechslungen von reinen Trocken- mit Brandschäden auf den Radarbildern vermeiden.



◀ Karte der Brandflächen und -schäden in Ost-Kalimantan nach ERS-2-Radarsatellitendaten: Der Verlauf von gelb nach dunkelrot zeigt die zunehmenden Vegetationsschäden.

▼ ERS-2-Satellitenbild von Ost-Kalimantan aus Aufnahmen vor und nach den Bränden: nicht verbrannte Vegetation (blau); verbrannte Vegetation (gelb bis orange).



karg und das Feuer findet wenig Nahrung. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen vor uns mit anderen Methoden Forscher, welche die Auswirkungen von Feuer im Amazonasregenwald untersuchten.

Aber nicht nur die Brandursachen, die Brandfläche und der Zerstörungsgrad der Wälder interessierten. Vor allem wollten wir berechnen, wie viel Biomasse bei den Torfbränden 1997 in Flammen und Rauch aufgegangen war. Wie groß war die Menge, die aus den brennenden Wäldern stammte, und wie groß die Menge aus dem Torf? Gerade die Freisetzung fossiler Kohlenstoffe gilt als wichtiger Faktor für die beobachtete globale Klimaerwärmung. Die einst von Pflanzen synthetisierte, im Torf – und später in Kohle – komprimiert gespeicherte Biomasse verbrennt unter anderem zu Kohlendioxid. Klimaforscher vermuten, dass der in letzter Zeit gemessene Anstieg dieser Verbindung in der Atmosphäre entscheidend zur weltweiten Klimaveränderung beiträgt.

### Globale Klimawirkung

Um die Menge des in den Torflagern gespeicherten Kohlenstoffs und des freigesetzten CO<sub>2</sub> abschätzen zu können, war es notwendig, neben der Brandfläche und der verbrannten Vegetation auch die Menge des gelagerten und des verbrannten Torfs zu ermitteln. Dies war nur mit Hilfe umfangreicher Torfbohrungen möglich. Dazu maßen unsere indonesischen Kollegen zunächst die Dicke der Torfschicht. In monatelanger Schwerstarbeit führten sie auf einer 3800 Quadratkilometer großen Fläche des Untersuchungsgebiets von Zentral-Kalimantan mehrere hundert Bohrungen durch, die mittels Satellitenpeilung in einem regelmäßigen Gitter über das Gelände verteilt waren. Mittels eines geografischen Informationssystems ließ sich daraus das Volumen berechnen. Wie sich herausstellte, reichen die Torflager in diesem Gebiet stellenweise über acht Meter tief. Im Mittel sind sie 2,3 Meter dick.

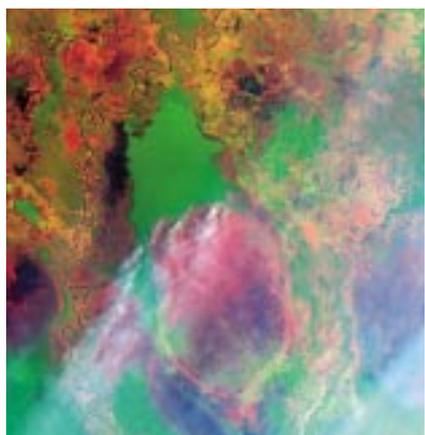
Insgesamt ist auf der vermessenen Testfläche das gigantische Volumen von 0,4 bis 0,8 Gigatonnen (Milliarden Tonnen) Kohlenstoff im Torf gespeichert. Hochgerechnet auf Indonesien ergibt das zwischen 25 und 50 Gigatonnen.

In einer zweiten Messreihe wurde bestimmt, wie tief die Feuer in die Torflager eindringen. Im Durchschnitt verbrannten etwa fünfzig Zentimeter Torf,



maximal bis zu zwei Meter (Bild oben). Diesen Durchschnittswert haben wir mit der aus den Satellitendaten ermittelten Brandfläche multipliziert und den Kohlenstoff aus der verbrannten Waldvegetation hinzuaddiert. Hochgerechnet auf alle verbrannten Torfgebiete in Indonesien ergab dies die gigantische Menge von 0,8 bis 2,5 Gigatonnen Kohlenstoff, die 1997/98 allein durch Torfbrände freigesetzt wurden. Nur etwa zwanzig Prozent davon stammten von verbrannter Vegetation. (Die Schwankungsbreite ergibt sich aus Unsicherheiten der Bestimmung der Torfwaldfläche sowie der Brandfläche in Torfgebieten für ganz Indonesien.)

Dieser Beitrag – aus einem für globale Maßstäbe vergleichsweise sehr kleinen Gebiet – entspricht zwischen 13 und 40 Prozent des weltweiten Kohlendioxid-ausstoßes durch Verbrennung von Erdöl, Kohle und Gas im selben Jahr. Messstationen auf Hawaii registrierten für 1997



Die vernichteten Torfwälder sind auf diesem Landsat-Falschfarbenbild vom August 1998 deutlich sichtbar: Unverbrannte Vegetation erscheint grün, verbrannte rot.

Anhand der vom Feuer freigelegten Wurzeln haben die Forscher unmittelbar nach den Bränden die vernichtete Torfmenge abgeschätzt.

einen fast doppelt so hohen Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration wie in den Jahren zuvor und danach. Diese Steigerung ist seit Beginn der Messungen im Jahr 1957 ohne Beispiel. Die Brände in Indonesien haben zu diesem Anstieg wesentlich beigetragen. Zwei andere Studien zur CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Waldbrände stützen unsere These.

### Steigende Gefahr für neue Brände

Bisherige Klimamodelle berücksichtigen den CO<sub>2</sub>-Ausstoß brennender Regenwälder nicht. Bedenkt man, dass noch nicht einmal der zehnte Teil des in Indonesien lagernden Torfs in Flammen aufgegangen ist, zeigt dies das klimawirksame Potenzial künftiger Feuerkatastrophen. Bereits im Herbst 2002, einem schwachen El-Niño-Jahr, sind wieder mehrere hunderttausend Hektar Torfwald Zentral-Kalimantans verbrannt, von der Weltöffentlichkeit kaum beachtet.

Auch die Medien etwa in Deutschland berichten eher von den klimatisch gesehen viel nebensächlicheren Waldbränden in Australien, Portugal oder den Vereinigten Staaten. Kaum jemandem ist bewusst, dass 1997 und 1998 in Indonesien zehn- bis zwanzigmal so viel Kohlendioxid in die Atmosphäre stieg wie Deutschland in den letzten zehn Jahren im Rahmen der Klimapolitik mit Milliardenaufwand eingespart hat. Eine global gesehen eher kleine Region kann so binnen Monaten die Anstrengungen vieler zunichte machen. Wollte man diese CO<sub>2</sub>-Mengen mit neu angepflanztem



FLORIAN SIEGERT

▲ In desolatem Zustand sind heute weite Flächen des Torfsumpfwalds in Zentral-Kalimantan. Die toten Bäume steigern das Risiko für neue Waldbrände extrem.

▷ Wald wieder auffangen, müsste man über 200 000 Quadratkilometer Land aufforsten, eine Fläche zweieinhalbmal so groß wie Österreich, und dreißig Jahre warten.

### Politisches Versagen

Die Asian Development Bank schätzte 1999 den volkswirtschaftlichen Verlust durch die Brandkatastrophe von 1997/98 auf über 9 Milliarden Euro. Darin enthalten waren mangels Daten nicht einmal Faktoren wie das verlorene exportierbare Tropenholz (nach unserer Analyse über 2 Milliarden Euro) oder andere vernichtete biologische Ressourcen. Der Schätzwert der Bank betraf nur etwa Einnahmeausfälle im Tourismus und rauchbedingte Gesundheitskosten.

Unsere Untersuchungen zeigen, dass die Feuer erst durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren ein so dramatisches Ausmaß annehmen. Ungestörte Torf- und Tieflandregenwälder brennen kaum, auch nicht nach mehreren Monaten Trockenheit, wie sie nur während eines besonders starken El Niño auftreten

können. Erst die Kombination von langer Trockenheit und einer falschen Entwicklungs- und Landnutzungspolitik führen in die Katastrophe. Zurzeit ist illegaler Holzeinschlag in Indonesien das größte Problem. Durch eine holzwirtschaftliche (Über-)Nutzung sowie die Trockenlegung der Torfsümpfe wird die natürliche Luft- und Bodenfeuchtigkeit so weit abgesenkt, dass der Torfboden und die Vegetation Feuer fangen können.

Zudem setzt in Regenwäldern, die einmal gebrannt haben, eine verhängnisvolle Wirkungskette ein. Untersuchungen im Amazonasregenwald wiesen auf, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Waldgebiet ein zweites Mal brennt, wesentlich höher ist als für das erste Mal. Feuer bereitet sich so gesehen selbst den Weg: In feuergeschädigtem Wald herrscht ein trockeneres Mikroklima, und schnell wachsende Pionierpflanzen, die besonders anfällig für Trockenheit sind, geben ein ideales Brennmaterial ab. Es entsteht eine positive Rückkoppelung, wie es der amerikanische Feuerökologe Mark A. Cochrane vom Woods-Hole-Forschungszentrum (Massachusetts) ausdrückt. Je öfter das Feuer kommt, desto wahrscheinlicher und verheerender brennt es. Endstation dieses Zyklus ist eine feuerresistente artenarme Savannenvegetation, in Indonesien Alang-Alang genannt. Die Theorie bestätigt aktuelle Ergebnisse aus dem

Jahr 2002: 61,5 Prozent der 1997 verbrannten Fläche stand im Jahr 2002 wieder in Flammen.

Es wird massiver internationaler Anstrengungen bedürfen, damit die tropischen Torfwälder Südasiens und die mächtigen Torfböden in den nächsten Jahren nicht vollständig in Rauch aufgehen. Indonesien wird das kaum allein leisten können. Leider hat die Bundesregierung die Entwicklungszusammenarbeit mit dem Land in diesem Bereich kürzlich beendet. ◀



**Florian Siebert** ist Professor für Erdbeobachtung und Umweltmonitoring am GeoBio-Center der LMU München und leitet die Firma Remote Sensing Solutions GmbH mit Hauptsitz in München.

Feuer in Waldökosystemen der Tropen und Subtropen. Von J. G. Goldammer. Basel 1993

Fire science for rainforests. Von Mark A. Cochrane in: Nature, Bd. 421, S. 913 (27. Febr. 2003)

The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. Von S. E. Page et al. in: Nature, Bd. 420, S. 61 (7. Nov. 2002)

Increased damage from fires in logged forests during droughts caused by El Niño. Von F. Siebert et al. in: Nature, Bd. 414, S. 437 (22. Nov. 2001)

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de) unter »Inhaltsverzeichnis«.