



MAX-PLANCK-GESellschaft

**A**nfang Juli 1997 verursacht das Tiefdruckgebiet „Zoloka“ in den tschechischen und polnischen Gebirgsregionen sintflutartige Niederschläge, in deren Folge es zu weiträumigen, verheerenden Überschwemmungen kommt: Bis zu 595 Liter Regen pro Quadratmeter fallen über dem Altwatergebirge, ein Drittel Tschechiens steht unter Wasser. 65 Menschen sterben, allein in Polen werden Zehntausende obdachlos. Die Hochwasserwelle erfasst auch die deutschen Odergebiete. Die Menschen müssen evakuiert, das Vieh in Sicherheit gebracht werden. Mit 6,57 Meter

trophale Auswirkungen haben, ist das Ergebnis raum- und städtebaulicher Fehlplanungen: Immer mehr natürliche **Überschwemmungsgebiete** verschwinden, um Platz für Industrieflächen und Siedlungen zu schaffen. Damit geht wichtiges Wasserspeichervermögen vor Ort verloren. Stattdessen schwellen die Flüsse an. Für die Schifffahrt begradigt, werden sie zur Autobahn für die Wassermassen.

Ganz anders in Amazonien: Riesige, zum Teil noch weitgehend intakte Überschwemmungsgebiete prägen die Landschaft und das Leben

## Wenn der Wald zum Ozean wird – Forschen im Schwemmland des Amazonas

erreicht der Pegel am 27. Juli in Frankfurt/Oder Rekordhöhe. Mehrere Tausend Bundeswehrsoldaten, Katastrophenhelfer und Feuerwehrmänner sind im Einsatz. Die Hochwasserschäden belaufen sich auf eine halbe Milliarde Euro. Fünf Jahre später, im Sommer 2002 werden die Menschen erneut Opfer einer Flutkatastrophe. Entlang der Elbe und ihrer Nebenflüsse verlieren Hunderttausende ihr Zuhause und ihren Besitz.

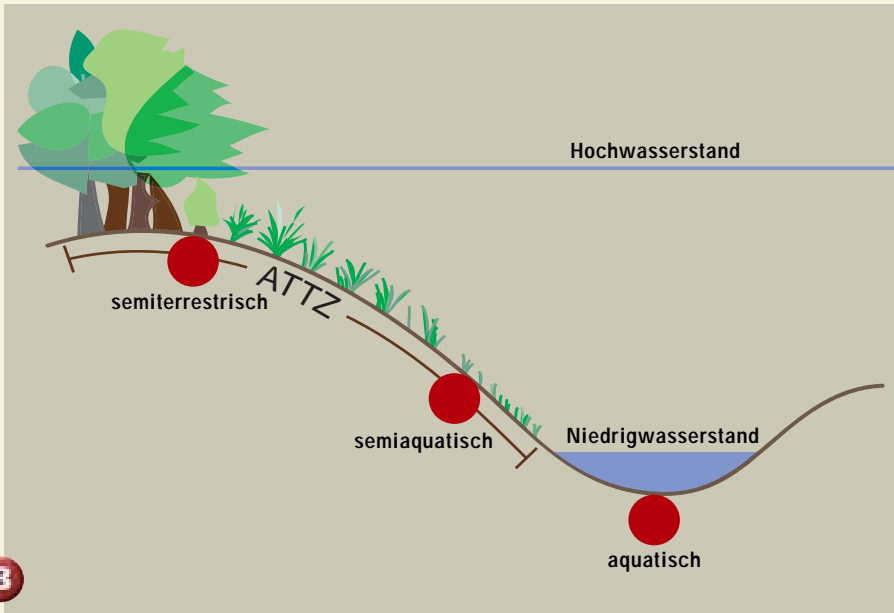
Tatsächlich sind Hochwasser wiederkehrende Naturereignisse. Dass sie bei uns derart katas-

von Menschen, Tieren und Pflanzen (**Abb. A**). Während der Regenzeit von Dezember bis Mai fallen hier pro Jahr 2000 Millimeter Niederschlag und mehr (zum Vergleich: In Deutschland sind es 500 bis 800 Millimeter pro Jahr.). Die Flüsse und Bäche können dann das Wasser in der flachen Landschaft nicht mehr fassen, und große Gebiete



**A**





Der Flut-Puls bestimmt die Vorgänge in den Überschwemmungsgebieten. Die biotischen (die lebende Natur betreffend) und abiotischen Prozesse in der so genannten aquatisch-terrestrischen Übergangszone (ATTZ, engl. Aquatic Terrestrial Transition Zone) regulieren die Zusammensetzung der Arten, die Nahrungsnetze und Nährstoffkreisläufe. Bilder rechts: a) Hochwasserperiode; b) Niedrigwasserperiode; c) Winzige Gliederfüßer überdauern die 5- bis 7-monatige Hochwasserperiode im Schwemmland der Schwarzwasserflüsse in einem seidenartigen Kokon.



Foto: J. Adis

→ werden überflutet. Der Hauptlauf des Amazonas – über eine Strecke von gut 2000 Kilometer durchschnittlich fünf Kilometer breit – schwillt bei Hochwasser auf bis zu 120 Kilometer Breite. 300 000 Quadratkilometer Land werden vom mächtigsten Fluss der Erde und seinen zahlreichen Zuflüssen bis zu einer Höhe von 15 Metern überschwemmt. Insgesamt steht während der Regenzeit ein Fünftel des Amazonasgebiets – etwa 1,4 Millionen Quadratkilometer Regenwald und Savanne – zeitweilig unter Wasser; das entspricht viermal der Fläche Deutschlands.

### „LAND UNTER“ AM ÄQUATOR

Für das Ökosystem wäre das Ausbleiben dieser Fluten eine Katastrophe. Denn im Laufe der Evolution hat sich die Natur in diesen Überschwemmungsgebieten perfekt an den Wechsel zwischen trocken und nass angepasst (Abb. B). Einige Tierarten, wie z. B. viele Bodenmilben und sogar Tausendfüßler, die sich bei Niedrigwasser im Boden tummeln, können auch unter Wasser weiterleben. Andere, wie Regenwürmer, Spinnen oder Ameisen, wandern in nicht überflutete Gebiete oder auf die Bäume des Überschwemmungswaldes. Und schließlich gibt es Tierarten, wie Springchwänze oder viele Sandlaufkäfer, die so genannte Dauerstadien durchlaufen und als Eier oder Larven mehrere Monate im überschwemmten Boden in einem physiologischen

Ruhezustand überleben. Der Wasserfloh legt kurz bevor die Flächen trocken fallen Dauereier, und die jungen Flöhe schlüpfen erst, wenn die Fluten wieder steigen.

Die Menschen, die in den Überschwemmungsgebieten leben, bauen ihre Häuser auf Pfählen, um der Überflutung zu entgehen. Dabei nehmen sie solche und andere Mühen, die ihnen die regelmäßig auftretenden Wassermassen bereiten, nicht grundlos in Kauf: Während der Trockenzeit finden sie an den Uferzonen der so genannten **Weißwasserflüsse** besonders fruchtbares Land. Weißwasserflüsse aus den geologisch jungen Anden, wie der Amazonas und einige seiner Zuflüsse, schleppen hohe Konzentrationen winziger Sedimentpartikel und gelöster Nährstoffe mit sich. Die Sichttiefe beträgt daher maximal einen halben Meter. Ihren Namen tragen sie aufgrund der hellen Farbe, die etwa der eines Milchkaffees entspricht. Im Gegensatz dazu sind die so genannten **Schwarzwasserflüsse**, wie der Rio Negro im nördlichen Teil Amerikas, in Folge gelöster Huminsäuren braun wie Tee. Diese Flüsse durchfließen riesige Sumpfwälder sowie sandige Böden und schwimmen dabei die Humussubstanzen mit sich fort. Das Wasser enthält keine Schwebeteilchen – die Sichttiefe beträgt noch etwas mehr als einen Meter – und ist im Vergleich zu Weißwasserflüssen sehr nährstoffarm. Wenn Hochwasser herrscht und die Menschen in

den Überschwemmungsgebieten keine Landwirtschaft betreiben können, leben viele von der Fischerei. Zahlreiche Fischarten wechseln während der Regenzeit aus den Flussbetten in die überfluteten Zonen, wo sie sich darauf spezialisiert haben, Früchte, Blüten und Insekten zu fressen, die von den Bäumen fallen: So beispielsweise der Tambaqui, ein großer Verwandter der Piranhas, der bis zu 30 Kilogramm schwer wird und mit seinen mächtigen Zähnen selbst harte Nüsse knacken kann. Im Gegensatz zu den Piranhas ernährt er sich allerdings streng vegetarisch.

### RAUBBAU AM TROPENWALD

Aber der Fortbestand dieser empfindlichen Ökosysteme ist zunehmend gefährdet: Moderne landwirtschaftliche Methoden verdrängen das althergebrachte Wissen über eine umweltverträgliche Nutzung der Tiere und Pflanzen in den Überschwemmungsgebieten. Der Bevölkerungsboom in Manaus und anderen Städten treibt den Bedarf an Nahrungsmitteln, darunter auch Fleisch, in die Höhe. Immer mehr Viehzüchter halten deshalb große Rinder- und Wasserbüffelherden in den Überschwemmungsgebieten. Um genügend Weidflächen zu haben, werden ausgedehnte Flächen des Waldes gerodet. Darüber hinaus fallen immer mehr Urwaldriesen der Holzwirtschaft zum Opfer. Milliarden Dollar, so wird geschätzt, verliert Brasilien jährlich durch fehlerhafte Holzgewinnung. Für einen Kubikmeter Holz als Endprodukt werden im Durchschnitt fünf Kubikmeter beim Fällen zerstört. Ein mächtiger Stamm reißt bis zu dreißig andere Bäume um und bricht ein bis zu 600 Quadratmeter großes Loch ins Blätterdach. In den

Überschwemmungswäldern haben es die Holzfäller besonders leicht: Hier brauchen sie weder Straßen noch Traktoren für ihre Arbeit. Sie fällen die Bäume während der Trockenperioden; beim nächsten Hochwasser lassen sich die Stämme leicht wegflößen. Es verwundert daher nicht, dass 90 Prozent des im Bundesstaat Amazonas geschlagenen Holzes aus Überschwemmungswäldern stammt. Weltweit wurde zwischen 1900 und 1975 etwa die Hälfte der vorhandenen tropischen Regenwälder zu Landwirtschaftsflächen umgewandelt oder verwüstet, so die Schätzungen der Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO). Die Fläche reduzierte sich von 18 Millionen Quadratkilometer auf 8,8 Millionen. Rund die Hälfte des verbliebenen Tropenwaldes steht im Amazonasgebiet. Doch von August 2002 bis August 2003 wurden allein im brasilianischen Teil knapp 24 000 Quadratkilometer gerodet. Der Schutz der Tropenwälder ist daher ein zentrales Anliegen von Wolfgang Junk, dem Leiter der Arbeitsgruppe Tropenökologie am Max-Planck-Institut für Limnologie in Plön. Junk ist überzeugt: „Je mehr wir über die biologischen Abläufe in diesen einzigartigen Ökosystemen wissen, desto konkretere Vorschläge können wir für eine umweltverträgliche Nutzung machen.“ Die Forscher haben deshalb die Beantwortung zahlreicher Fragen auf ihre Agenda gesetzt, u.a.: Wie schaffen es die Bäume in Amazonien, mehrere Monate im Wasser zu stehen, ohne einzugehen? Welchen Veränderungen unterliegen die Photosynthese- und Wachstumsraten? Und wie viel Holz darf in dieser Gegend jährlich gefällt werden, ohne dass die Wälder dadurch irreparabel zerstört werden? Mit diesen wissenschaftlichen Arbeiten begab sich Junk vor etwa 35 Jahren auf biologisches Neuland: „Es gab zwar Konzepte für rein aquatische und für rein terrestrische Ökosysteme, aber keines, das die

Bedingungen in solchen Regionen erklären konnte, die periodisch zwischen Feucht- und Trockengebiet wechseln. Dabei sind diese beiden Zustände in Überschwemmungsregionen die zwei Seiten einer Medaille und nicht voneinander zu trennen.“

### IM RHYTHMUS DER FLUTEN

Der Forscher entwickelte deshalb mit Kollegen das so genannte **Flut-Puls-Konzept**. Es beschreibt, wie der regelmäßige Wechsel zwischen Überflutung und Trockenheit weltweit das Leben in Überschwemmungsgebieten bestimmt – genau wie der **Licht-Temperatur-Puls** bei uns für den Wechsel der Jahreszeiten und den damit verbundenen Veränderungen in der Natur sorgt. „Weil die Überschwemmungen in den Tropen regelmäßig auftreten, also vorhersehbar sind, können sich Tiere und Pflanzen darauf einstellen“, erklärt Junk. „Hierzulande treten sie dagegen in unregelmäßigen Zeitabständen auf. Schließlich sind weder die Niederschläge noch die Schneeschmelze genau vorhersehbar. Für die Organismen ist es deshalb viel schwieriger, sich das Hochwasser zu Nutzen zu machen.“

In Amazonien herrscht Ende Juni/Anfang Juli regelmäßig Hochwasser; im November und Dezember erreichen die Wasserstände dagegen ihre tiefsten Werte. Viele Fischarten legen deshalb während des Hochwassers große Fettreserven an – in dieser Zeit ist das Nahrungsangebot besonders hoch, die Konkurrenz unter den Fischen folglich gering. Geht das Wasser

zurück, nehmen die Tiere wenig oder gar keine Nahrung mehr zu sich. Gleichzeitig produzieren die Weibchen große Mengen Eier. Aber erst, wenn der Wasserpegel wieder steigt, laichen sie. Damit ist garantiert, dass die Jungfische schlüpfen, wenn es wieder genügend Wasser und ausreichend Nahrung gibt.

Wolfgang Junk und seine Mitarbeiter haben in den vergangenen Jahren die unterschiedlichsten Aspekte des Lebens in den Überschwemmungsgebieten Amazoniens detailliert untersucht, so auch, wie sich Bäume an den Flutpuls anpassen. „Ein Apfelbaum kann in unseren Breiten im Winter ohne große Probleme ein paar Wochen im Wasser stehen; im Sommer – also während der Wachstumsphase – würde er unter den gleichen Bedingungen nach kurzer Zeit eingehen. Die Stau-nässe verhindert, dass Sauerstoff an die Baumwurzeln gelangt. Dadurch sterben die Feinwurzeln ab, der Baum kann kein Wasser mehr aufnehmen und vertrocknet, obwohl er im Wasser steht“, erklärt der Ökologe.

### LUFT HOLEN UNTER WASSER

Über tausend Baumarten in Amazonien haben dagegen die verschiedensten Anpassungsstrategien entwickelt, um den extrem ungünstigen Wachstumsbedingungen während der Überschwemmungsphase zu begegnen: Das Eindringen des Flutwassers in die Bodenporen schränkt den Gasaustausch stark ein. Unter den tropischen Bedingungen kommt es daher schon nach wenigen Stunden zu Sauerstoff-

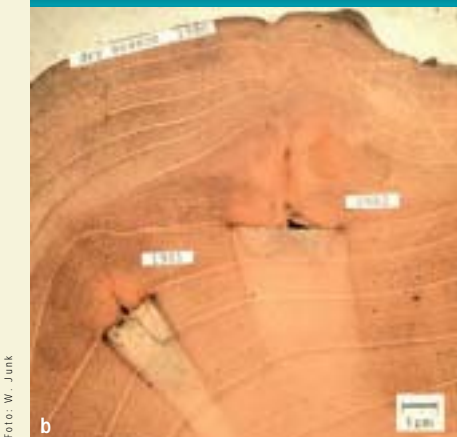
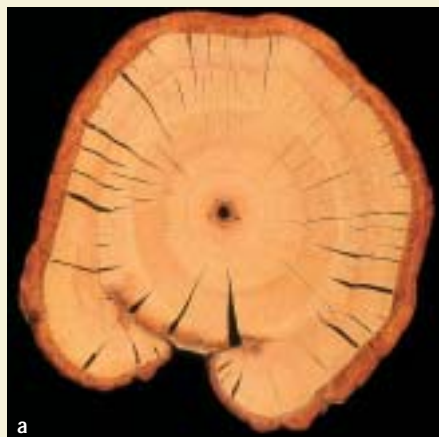


Foto: W. Junk

Foto: M. Weidner

## JAHRESRINGE OHNE JAHRESZEITEN

**Wie entstehen Baumringe im Holz von Überschwemmungswäldern?** Das Dickenwachstum der Bäume hängt von verschiedenen Umweltfaktoren ab – in unseren Breiten beispielsweise vom Licht-Temperatur-Puls, der sich im Jahresrhythmus ändert. Dadurch bilden sich die so genannten Jahresringe. Um die Ursache der Ringe in Bäumen von Überschwemmungswäldern zu untersuchen, schnitten die Plöner Forscher drei Jahre lang jeweils zum Ende der Hochwasserphase ein etwa ein Zentimeter langes „Fenster“ in die Rinde eines Baumes. Mit der Zeit wuchsen diese Verwundungen wieder zu (**Bild a**). Zehn Jahre nach Versuchsbeginn sägten die Wissenschaftler eine Stammscheibe durch die Verwundungsebene. Die Verletzungen sind hier deutlich zu sehen (**Bild b**). Ihre Lage beweist erstens, dass der Baum während der Hochwasserphasen kaum gewachsen ist. Zweitens wird deutlich, dass die Ringe auch hier im Jahresrhythmus entstehen. Folglich steuert der Flutpuls das Wachstum.

Um das Verhalten von Bäumen zu testen, die ganz unter Wasser stehen, zogen die Tropenökologen im Gewächshaus kleine Pflanzen aus Samen, die sie in der Nähe von Manaus gesammelt hatten. Zwei junge Bäume stellten sie in Aquarien, die mit 28°C warmem Regenwasser gefüllt waren. Eines der beiden Glasgefäße wurde künstlich mit Licht bestrahlt, das andere mit schwarzer Folie bedeckt, sodass kein Licht an die darin stehende Pflanze gelangen konnte. Drei Monate lang hielten die Forscher die Bäume unter diesen Bedingungen, nur das Wasser wurde über Filter kontinuierlich gereinigt. Das erstaunliche Ergebnis: Wenige Tage nach dem Auftauchen aus dem Wasser waren die Blätter beider Pflanzen wieder voll funktionsfähig, das heißt, sie betrieben Photosynthese genau wie vor dem Experiment. Welche Mechanismen es ihnen ermöglichen, monatelang auf Tauchstation zu gehen – und noch dazu in Dunkelheit, untersuchen die Plöner Forscher zurzeit.

Foto: D. Waldhoff



D

➔ mangel im Boden und in der Folge steigen die Konzentrationen an pflanzengiftigen Verbindungen wie beispielsweise Methan. Die Unterbrechung der Sauerstoff-Atmung führt im Wurzelgewebe dazu, dass die Zellen nicht über genügend Energie verfügen, um Wasser und Nährstoffe aufzunehmen. Einige Baumarten decken ihren Mindestenergiebedarf durch **anaerobe**, also ohne Sauerstoff ablaufende **Stoffwechselreaktionen**. Andere können durch anatomische und morphologische Anpassungen den Energiestatus der Wurzelzellen auf dem Niveau halten: Gasdurchlässige Zellen ermöglichen in der Rinde die Aufnahme von atmosphärischem Sauerstoff, der intern zu den überfluteten Organen transportiert wird. Darüber hinaus entstehen unter Flutungsbedingungen direkt aus dem Stamm in Höhe der Wasseroberfläche so genannte **Adventivwurzeln**, die eine Länge von bis zu 4 Meter erreichen. Sie werden aus dem umgebenden Wasser mit Sauerstoff versorgt – strömendes Flutwasser ist wegen der Verwirbelungen besonders reich an gelöstem O<sub>2</sub> – und können den Wasserbedarf der Baumkrone decken. So gelingt es vielen Baumarten auch bei bis zu acht Meter hoher Überflutung noch ihre Blätter zu behalten, Photosynthese zu betreiben, und oberhalb des Wasserspiegels zu blühen, zu fruchten und neue Blätter zu entwickeln. Interessanterweise besitzen die Baumstämme in tropischen Überschwemmungswäldern Jahresringe. In mittleren Breiten entstehen diese Ringe, weil die Bäume während der verschiedenen Jahreszeiten unterschiedlich stark wachsen und im Winter eine Ruhepause einlegen. In den Tropen aber gibt es keine Jahreszeiten – woher also stammen die Ringe?

Die Plöner Wissenschaftler konnten zeigen, dass auch beim Baumwachstum der Flutpuls eine entscheidende Rolle spielt: Nur in den Perioden mit niedrigem Wasserstand, wenn die Wurzeln gut belüftet werden, nehmen die Stämme an Dicke zu; während der Überschwemmungsphasen legen sie eine Pause ein (**Abb. C**). Und das heißt, auch gut angepasste Arten leiden unter Flutstress.

### LANDNUTZUNG MIT WEITBLICK

Neben dieser Grundlagenforschung beteiligt sich das Team um Wolfgang Junk auch an der Entwicklung von Konzepten für die **nachhaltige Nutzung** der tropischen Ökosysteme. Zwei Mitarbeiter des Plöner Max-Planck-Instituts sind daher in Manaus stationiert. Zusammen mit rund einem Dutzend brasilianischer Kollegen unternehmen sie tage-, manchmal auch wochen- oder monatelange Reisen in die Überschwemmungsgebiete. Auch Junk ist drei- bis viermal pro Jahr vor Ort. „Wir nehmen dort verschiedene Landnutzungsmöglichkeiten unter die Lupe und bewerten sie“, erklärt der Wissenschaftler. 17 Millionen Kleinbauern kämpfen in Amazonien um ihre Existenz. Nach einer Studie des Kieler Instituts für Weltwirtschaft werden fünf bis zehn Prozent des brasilianischen Volkseinkommens im Regenwald erwirtschaftet – darauf lässt sich nicht leicht verzichten. Aber was geschieht beispielsweise, wenn die Bauern Überschwemmungswald abholzen, um auf den dadurch gewonnenen Flächen während der Trockenzeit Rinder weiden zu lassen? „Die Bauern können dadurch zwar mehr Fleisch, aber weniger Holz verkaufen,“ erläutert Junk. „Vor allem aber geht die Anzahl der Nutzfische während der Regenzeit zurück, die **Ar-**

**tenvielfalt** nimmt generell deutlich ab, und die Erosionsgefahr steigt, weil Strömungsbrecher fehlen.“ Zudem können nur wenige Tiere pro Fläche gehalten werden. Daher ist der Nutzen der großflächigen Viehzucht in den Überschwemmungsgebieten insgesamt gering und diese Art der Landnutzung im großen Stil letztlich nicht empfehlenswert. Ähnlich analysierten die Plöner Forscher auch verschiedene andere Formen der Landwirtschaft, wie sie zurzeit in den Überschwemmungswäldern betrieben werden – immer mit dem Ziel, dass vor allem die zuständigen brasilianischen Politiker möglichst viele Forschungsergebnisse in praktischen Umweltschutz umsetzen. „Die Daten werden uns leider nicht aus der Hand gerissen“, so Junk, „aber irgendwann wird der Leidensdruck so groß sein, dass etwas passieren muss.“ Immerhin: Die Fläche der Schutzgebiete wurde in den letzten Jahren auf knapp zehn Prozent der Gesamtfläche Amazoniens ausgedehnt.

**Schlagwörter:** Überschwemmungsgebiete, Weißwasserflüsse, Schwarzwasserflüsse, Flut-Puls-Konzept, Licht-Temperatur-Puls, anaerobe Stoffwechselreaktionen, Adventivwurzeln, nachhaltige Nutzung, Artenvielfalt

**Internet:** • [www.amazonas.de](http://www.amazonas.de)

• [www.brasilien.de/land/staaten/amazonas.asp](http://www.brasilien.de/land/staaten/amazonas.asp)

• [www.g-o.de/index.php?cmd=focus\\_detail2&f\\_id=64&rang=2](http://www.g-o.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=64&rang=2)

## DIE „MAX“-REIHE

auch unter [www.max-reihe.mpg.de](http://www.max-reihe.mpg.de)

BIOMAX, GEOMAX und TECHMAX erscheinen jeweils zweimal im Jahr und berichten über aktuelle Forschungsergebnisse aus den Max-Planck-Instituten vor allem für Lehrer und Schüler. Weitere Exemplare können unter folgender Adresse kostenlos bestellt werden:

