



for a living planet[®]

Der Teufelskreis am Amazonas

Dürre und Feuer im Treibhaus

Ökologische und klimatische Tipping Points des weltweit größten tropischen Regenwaldes und konkrete Gegenmaßnahmen



*Bericht für den World Wide Fund for Nature (WWF)
Von Daniel C. Nepstad*

Der vorliegende Bericht wurde unterstützt von:

- *Woods Hole Research Center,*
- *Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia,*
- *Universidade Federal de Minas Gerais.*

*Unser besonderer Dank gilt Britaldo Soares Filho, Claudia Stickler,
Paul Lefebvre, Paulo Moutinho, Karen Schwalbe und Wendy Kingerlee*



*Eine unabhängige wissenschaftliche inhaltliche Überprüfung des Berichts erfolgte durch
Prof. Yadvinder Malhi, Professor für Ökosystemforschung an der Universität von Oxford*

Danksagung

Die folgenden Personen haben wertvolle Ratschläge und Informationen zu diesem Bericht beigetragen:

- | | |
|--------------------------------|--|
| – Keith Allot | – Christine Pendzich |
| – Gabriel Azevedo | – Matthew Perl |
| – Mauro Armelin | – Duncan Pollard |
| – Michael Case | – George Powell |
| – Soh Koon Chng | – Carlos Alberto de Mattos
Scaramuzza |
| – Ken Creighton | – Kirsten Schuyt |
| – Michael Evers | – Karen Suassuna |
| – Sarah Hutchison | – Meg Symington |
| – Guénola Kahlert | – Rodney Taylor |
| – Rebeca Kritsch | – Alois Vedder |
| – Urbano Lopes da Silva Júnior | – Hans Verolme |
| – Claudio C. Maretti | |

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Die enge Verbindung zwischen Amazonas-Regenwald und Klima	4
“Point of no Return” kommt vielleicht schneller, als wir glauben	4
Chancen auf eine Wende	5
Einführung	7
Dürre, Feuer und der ökologische Tipping Point	8
Entwaldung, Rauch, globale Erwärmung und der klimatische Tipping point	11
Neuer Entwaldungsdruck kann Waldsterben beschleunigen	13
Mit Riesenschritten in Richtung Waldsterben	15
Entscheidende Maßnahmen zur Abwendung kritischer Tipping Points	17
Schlussbemerkung	19
Literaturverzeichnis	20

Zusammenfassung

„Amazonas“ – das lässt uns an riesige Regenwälder, an das größte Flusssystem der Welt, an Leben in Hülle und Fülle und an eine kulturelle und biologische Vielfalt denken, alles eng miteinander verwoben und voneinander abhängig. Die Pflanzen- und Tierwelt des Waldes birgt noch unentdeckte Heilmittel für Krankheiten und Bausteine der Molekularbiotechnologie, die wir brauchen werden, um unseren Planeten weniger zu belasten. Und tief in den Wäldern leben Indianerstämme, die noch nie Kontakt zur Außenwelt hatten. Aber „Amazonas“ bekommt derzeit eine neue Bedeutung. „Amazonas“ ist zum globalen Symbol für die Abhängigkeit der Menschheit von natürlichen Ökosystemen geworden. Der Regenwald prägt das Klima, das wir heute haben, und ist vielleicht von einem immer wärmeren und unberechenbareren Weltklima bedroht. Der vorliegende Bericht analysiert die Zusammenhänge zwischen Amazonaswald und Klima und geht auf deren Veränderungen durch die Zerstörung des Waldes und die Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre ein. Er wertet die besten verfügbaren Informationen aus, um zu ermitteln, wie nahe wir dem Punkt sind, an dem sich ein großflächiges Waldsterben am Amazonas nicht mehr verhindern lässt, und identifiziert einige Maßnahmen, die diesem Prozess entgegenwirken könnten.

Die enge Verbindung zwischen Amazonas-Regenwald und Klima

1) Der Amazonaswald hat einen enormen Einfluss auf das Weltklima. Erstens verbraucht der Regenwald riesige Mengen an Energie nahe der Erdoberfläche: Die Hälfte der Sonnenenergie, die auf den Wald einstrahlt, wird durch die Evaporation von Wasser über die Blätter absorbiert¹. Zweitens ist der Regenwald ein großer, ziemlich empfindlicher Kohlenstoffspeicher. Durch Abholzung, Dürre und Waldbrände gelangt dieser Kohlenstoff in die Atmosphäre und bildet Treibhausgase, die die globale Erwärmung verursachen. Drittens entspricht das Wasser, das aus diesen Wäldern kommt und in den Atlantik fließt, 15–20 Prozent des weltweiten Süßwasserabflusses. Das könnte genug sein, um die großen Meeresströmungen zu beeinflussen, die ihrerseits eine wichtige

¹ Ein Großteil der Energie im Wasser wird freigegeben, wenn der Dampf kondensiert, um Wolken und Regen zu bilden. Dies ist einer der wichtigen Mechanismen der globalen atmosphärischen Zirkulation.

Rolle für das globale Klima spielen. *Die Amazonaswälder müssen erhalten werden, um das Weltklima zu stabilisieren.*

2) Der Amazonas steht an der Schwelle zu dramatischen Veränderungen, die auf den Klimawandel zurückzuführen sind. Wenn es der Gesellschaft nicht gelingt, die Treibhausgas-Emissionen erheblich zu reduzieren, um einen gefährlichen Klimawandel zu verhindern, wird die globale Erwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts die Niederschlagsmenge im Osten Amazoniens wahrscheinlich um über 20 Prozent verringern, und die Temperatur wird sich um über 2°C, vielleicht sogar um bis zu 8°C, erhöhen. Die daraus resultierende Trockenheit wird im östlichen Amazonasbecken besonders streng sein. Die Ausbreitung von Trockenheit und Hitze könnte noch verstärkt werden durch das großflächige Waldsterben und die Ausbreitung von savannenähnlichen und semiariden Vegetationsformen. *Das Weltklima muss stabilisiert werden, um die Regenwälder am Amazonas zu erhalten.*

„Point of no Return“ kommt vielleicht schneller, als wir glauben

- 1) Viele Veränderungen, die heute in Amazonien stattfinden, könnten zu einer starken Umwandlung und Degradation der Amazonaswälder in den nächsten 15–25 Jahren führen, lange vor dem Waldsterben gegen Ende des Jahrhunderts, das von einigen Modellen prognostiziert wird. Der derzeitige Ausbau von Landwirtschaft und Viehzucht, sowie die Zunahme von Feuer, Dürre und Holzeinschlag könnten *bis zum Jahr 2030 in Amazonien 55 Prozent des Regenwaldes vernichten oder stark beschädigen.*
- 2) *Eine starke Degradation des Waldes könnte durch das Zusammenspiel verschiedener Teufelskreise innerhalb der Ökosysteme, sowie zwischen den Ökosystemen und dem Klima in Amazonien beschleunigt werden.* Wenn der Amazonaswald den Tipping Point erreicht, verschlechtern sich die Aussichten auf eine Erhaltung des Regenwaldes erheblich; die Biodiversität nimmt ab, die Emissionen von Treibhausgasen aus der Region nehmen zu.
- 3) Der *ökologische Tipping Point* ist erreicht, wenn die feuerresistenten Urwälder durch immer neue Waldschäden aufgrund von Dürre, Holzeinschlag und Feuer zu leicht entflammbarem Unterholz degradieren. Dieser Tipping Point wird durch Teufelskreise

innerhalb des Feuerregimes am Amazonas begünstigt. Vom Feuer einmal angegriffene Wälder sind anfälliger für weitere Brände, denn wenn Bäume den Flammen zum Opfer fallen, gelangt mehr Sonnenlicht ins Innere des Waldes, das die toten Blätter und Zweige am Waldboden austrocknet. Die Invasi- on leicht entzündlicher Gräser, Farne und Bambusse nach einem Feuer verstärkt den Teufelskreis, da sich die Menge an Brennmaterial am Waldboden erhöht. Der ökologische Tipping Point wird durch eine feuerabhängige Landwirtschaft begünstigt, die für zahlreiche Zündquellen sorgt, wie z. B. Rinderhal- tung und Brandrodung.

- 4) Der *klimatische* Tipping Point ist erreicht, wenn Entwaldung, Rauch, Anomalien der Meeresoberflä- chentemperatur (wie das *El-Niño*-Phänomen) und die globale Erwärmung dazu führen, dass in einigen Regionen der Niederschlag ausbleibt. Dieser klima- tische Tipping Point verstärkt sich selbst, indem er die Degradation und das Abbrennen von Wäldern begünstigt, was wiederum die Abgabe von Wasser- dampf reduziert und die Emission von Rauch in die Atmosphäre erhöht – beides verhindert Niederschlä- ge. Das Ausbleiben von Niederschlag durch Ent- waldung scheint häufiger zu werden, wenn die gero- deten Flächen mehr als 30 Prozent ausmachen.
- 5) *Die Entwaldung am Amazonas könnte sich in Zukunft durch zwei große Trends beschleunigen:* Erstens erhöht die steigende Weltnachfrage nach Soja, Biokraftstoffen und Fleisch die Rentabilität von Landwirtschaft und Viehzucht am Amazonas. So wird es für Bauern und Viehzüchter reizvoller, ihre gesetzlich vorgeschriebenen Waldschutzgebiete in Acker- und Weideland umzuwandeln. Zweitens hält das Risiko von außer Kontrolle geratenen Brän- den Landbesitzer davon ab, in nachhaltige Waldwirt- schaft und Weideverbesserungen zu investieren, da diese den Flammen zum Opfer fallen könnten. Dies erhöht wiederum die Abhängigkeit von großflächiger Rinderhaltung und Brandrodung – wodurch sich das Risiko von Brandunfällen weiter erhöht.
- 6) *Synergien zwischen den Wäldern, den Wirtschafts- räumen und dem Klima am Amazonas begünstigen ein großflächiges Waldsterben in den nächsten 15– 25 Jahren.* In einem Szenario des großflächigen Waldsterbens gibt es immer häufiger Waldbrände, Brandrodungen für Ackerbau und extensive Weide- wirtschaft bilden eine vorrückende Front an Brand- herden, und regionale Dürren werden häufiger wegen der verminderten Transpiration und der grö-

ßeren Rauchproduktion. Die steigende Nachfrage nach Soja, Biotreibstoffen und Fleisch erhöht die Profite, die mit der Entwaldung gemacht werden können.

- 7) *Eine großflächige Degradation der Amazonaswälder könnte die Niederschlagsmenge in weit entfernten Regionen der Erde beeinflussen und damit die globalen Klimastörungen beschleunigen.* Wenn die unter 1. beschriebenen Voraussagen bis 2030 eintref- fen, würden 15–26 Milliarden Tonnen Kohlenstoff in die Atmosphäre abgegeben; das entspricht 1,5–2,6 Jahren der derzeitigen Kohlenstoffemissionen welt- weit. Wenn der Amazonaswald weiter zerstört wird, ist mit einer Veränderung der Niederschlagsmenge in Regionen auf der ganzen Welt zu rechnen. Einige Modelle lassen darauf schließen, dass die Nieder- schlagsmenge in Indien und Mittelamerika sowie während der Vegetationszeit in den Korngürteln Bra- siliens und der USA zurückgehen würde.
- 8) *Derzeitige wirtschaftliche Entwicklungen und der Klimawandel auf regionaler und globaler Ebene könnten wichtige Ökosysteme in der Amazonasregi- on zerstören, z. B. den Babassuwald im brasiliani- schen Bundesstaat Maranhão, den Trockenwald am Marañon und die Nebelwälder von Bolivien.* Wenn die derzeitige Entwicklung so weitergeht, werden viele Tierarten, darunter viele Primaten, im Lauf der nächsten Jahrzehnte über 80 Prozent ihres Lebens- raums in den Primärwäldern verlieren.

Chancen auf eine Wende

- 1) *Verschiedene Prozesse und positive Rückkoppelungs- effekte könnten verhindern, dass die Amazonaswälder diese Tipping Points erreichen* und könnten die Grundlage für eine neue, entschlossene Strategie zur Erhaltung des Regenwaldes bilden.
- 2) *Der positive ökologische Rückkoppelungseffekt* ergibt sich aus dem Potential der Wälder, schnell wieder nachzuwachsen, wenn sie nicht mehr regelmäßig Feuern ausgesetzt werden. Sind sie vor Feuer ge- schützt, entwickeln die meisten degradierten Flächen im Amazonasgebiet wieder ein geschlossenes Blät- terdach und könnten innerhalb von 15 Jahren wieder die niederschlagsstabilisierende Funktion von Primär- wäldern erfüllen. Je länger der Wald sich ohne Feuer- ereignisse erholen kann, desto mehr nimmt seine Brennbarkeit ab. Die Menge des Wasserdampfs in die Atmosphäre nimmt zu und bildet dort Regenwolken.

3) Beim *positiven Klima- Rückkoppelungseffekt* erhöht sich die Niederschlagsmenge indem sich die Wasserdampfproduktion (Transpiration) der Wälder über große Flächen erholt. Dies geschieht durch nachwachsenden Wald und angepflanzte Bäume sowie die geringere Häufigkeit von Waldbränden. Der vermehrte Regen erleichtert wiederum die Erholung des Waldes, und die Häufigkeit von Waldbränden nimmt weiter ab.

4) Zwei *positive ökonomische Rückkoppelungseffekte* haben mit Verhaltensänderungen der Landbesitzer zu tun, indem sie die Häufigkeit von Feuer reduzieren und dafür sorgen, dass Landnutzungsgesetze besser eingehalten werden. Zum Einen wird auf den Agrarmärkten zunehmend nach der sozialen und ökologischen Leistung der Landwirte und Viehzüchter gefragt, die mit Initiativen reagieren, um die Legalität und die sozioökologische Leistung ihrer Betriebe zu erhöhen. Gegenseitige Kontrolle und ein gemeinsames Ziel, nämlich ein besserer Zugang zu lukrativen Agrarmärkten, führen zu erhöhten Investitionen in den Brandschutz, in die Restauration von Uferwäldern und in die Erfüllung von Auflagen für private Waldschutzgebiete. Zum Anderen, je mehr Landbesitzern es gelingt, die Anpflanzung von feuerempfindlichen Nutzbäumen, Waldbewirtschaftungssysteme und verbesserte Weidewirtschaft durchzusetzen, desto weniger wird Feuer als Managementinstrument genutzt und desto mehr in den Brandschutz investiert. Diese Landbesitzer werden auch versuchen, ihre Nachbarn davon zu überzeugen, Brandunfälle zu verhindern; und vielleicht wird ein Tipping Point dadurch erreicht, dass in ganzen Landstrichen Feuer nur noch von einer verschwindenden Minderheit eingesetzt wird.

5) *Nachhaltige Holzwirtschaft mit umweltschonendem Holzeinschlag, ist eine wichtige wirtschaftliche Alternative zu von Brandrodung abhängigem Ackerbau und Viehzucht.* Schonender Holzeinschlag ermöglicht Holzfirmer das Fällen einzelner Bäume, ohne dass sich die Feueranfälligkeit des Waldes wesentlich erhöht. Das erleichtert auch weitere Holzernten zu einem späteren Zeitpunkt.

6) *Allein die Durchsetzung bestehender Landnutzungsregeln und -programme im brasilianischen Amazonasgebiet und deren Übertragung in andere Amazonasstaaten könnte die Entwaldung um die Hälfte reduzieren.* Das Amazon Region Protected Area Programme (ARPA) beispielsweise sowie regionale partizipative Planungsprozesse zur Vorbereitung von

Infrastrukturinvestitionen, haben bereits zur Schaffung von 23 Millionen Hektar neuer Schutzgebiete in den Jahren 2004 und 2005 beigetragen, sodass an der Entwaldungsgrenze im brasilianischen Amazonasgebiet weniger Land verfügbar ist und weniger abgeholzt wird.

7) *Noch ist Zeit, das Risiko großflächiger Degradation in Amazonien zu senken und die globale Erwärmung die damit einhergehen würde, zu verlangsamen.* Alle Möglichkeiten, die weitere Erschließung des Amazonaswaldes zu kontrollieren, müssen genutzt werden. Einer der viel versprechendsten Ansätze zum großflächigen Schutz der Amazonaswälder sind die Vorschläge innerhalb der UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) die Emissionen tropischer Länder zu reduzieren, indem den UNFCCC Vertragsstaaten ein neuer starker Anreiz geboten wird, in die Erhaltung von Wäldern zu investieren.

Einführung

Der Amazonas-Regenwald beeinflusst das Leben auf der Erde durch verschiedene Prozesse, von denen wir viele noch gar nicht ganz verstanden haben. Der Wald ist eine der größten Klimaanlagen der Welt und absorbiert die Hälfte der Sonnenenergie, die auf seine Fläche einstrahlt, denn auf den Blättern und anderen Oberflächen verdampfen riesige Wassermengen – ungefähr 8 Billionen Tonnen im Jahr (Salati und Vose 1984). Die Freigabe dieses Wasserdampfs in die Atmosphäre ist eine entscheidende Voraussetzung für die Bildung von Kumuluswolken, die dann ihrerseits den Wald mit Regen versorgen. Aber die Energie, die von den Amazonaswäldern absorbiert wird, wirkt sich weltweit aus, und zwar über weit reichende klimatische „teleconnections“. Nach einem Modellexperiment könnten Landwirte im Korngürtel im Mittelwesten der USA und in der Kornkammer Brasiliens im zentralen Flachland Südamerikas feststellen, dass die Niederschlagsmenge in der Vegetationszeit abnimmt, weil die Amazonaswälder zu Viehweiden gemacht werden; andere Änderungen der Niederschlagsmenge könnten in weit entfernten Regionen wie Indien, dem Westpazifik und Mittelamerika spürbar sein (Werth und Avissar 2002, Avissar *et al.* 2005). Die 7 oder 8 Billionen Tonnen Wasser, die jedes Jahr durch die Amazonasmündung in den Atlantik fließen, machen 15–20 Prozent des weltweiten Süßwasserabflusses in die Meere aus. Könnten Änderungen an dieser enormen Wassermenge die riesigen Meeresströmungen beeinflussen, die Energie über die Erde transportieren und die zu den Klimaverhältnissen beitragen, die wir heute kennen? Einige Wissenschaftler halten das für möglich, aber wir wissen es einfach nicht.

Auch unser Leben ist mit dem Wohlergehen des Amazonaswaldes verbunden: Der Wald speichert Kohlenstoff – das Element, das in Verbindung mit Sauerstoff (aus Verbrennungsprozessen oder der Atmung) zu Kohlendioxid, in Verbindung mit Wasserstoff zu Methan wird; zwei Treibhausgase, die die globale Erwärmung verursachen. Die Bäume am Amazonas speichern 90–140 Milliarden Tonnen Kohlenstoff (Soares *et al.* 2006, Saatchi *et al.* 2007). Das entspricht der Kohlenstoffmenge, die innerhalb von 9–14 Jahren durch menschliche Aktivitäten freigesetzt wird – im Jahr 2007 wurde die jährliche Menge auf ungefähr 10 Milliarden Tonnen geschätzt (Canadell *et al.* 2007). Das Ziel, die globale Erwärmung zu verlangsamen und dafür zu sorgen, dass die weltweiten Durchschnittstemperaturen um nicht mehr als 2°C steigen, wird sehr schwer zu erreichen sein, wenn die Kohlenstoffemissionen aus den Regenwäldern weltweit und insbesondere aus dem Amazonas-

gebiet in den nächsten Jahren nicht drastisch verringert werden (Gullison *et al.* 2007). Jedes Jahr gelangen etwa 0,2–0,3 Milliarden Tonnen Kohlenstoff aus dem Amazonasgebiet in die Atmosphäre – Folge der Umwandlung von Wäldern in Rinderweiden und andere landwirtschaftlich genutzte Flächen allein im brasilianischen Amazonien (Houghton *et al.* 2000, Fearnside 1997). Diese Menge könnte sich verdoppeln, wenn schwere Dürren das Waldbrandrisiko erhöhen (Nepstad *et al.* 1999a, Alencar *et al.* 2006). Die Kohlenstoffemissionen aus allen Amazonasländern zusammen könnten bei 0,4–0,5 Milliarden Tonnen pro Jahr liegen, und das sogar ohne Berücksichtigung der Emissionen durch Waldbrände².

Neben seiner Rolle als gigantischer, etwas undichter Speicher potenzieller Treibhausgasemissionen, ist der Amazonas-Regenwald auch Heimat jeder vierten bis fünften Säugetier-, Fisch-, Vogel- und Baumart weltweit (Dirzo und Raven 2003). In der Region werden mehr als 300 Sprachen und Dialekte gesprochen, von Ureinwohner-Stämmen, von denen einige niemals Kontakt mit der Außenwelt hatten.

Die Ökosysteme und die Biodiversität der Region könnten von der globalen Erwärmung bedroht sein, die gegen Ende des Jahrhunderts vielleicht zur Umwandlung von Waldgebieten in savannenähnliche und semiaride Vegetationsformen führt, zum „Amazon Dieback“, dem Waldsterben in Amazonien (Cox *et al.* 2000, 2004, Nobre *et al.* 1991, Oyama und Nobre 2003). Aber Klima- und Vegetationssimulationen schließen weder die Veränderung der Landnutzung mit ein noch deren Synergieeffekte mit den kurzfristigen regionalen Klimaveränderungen auf das Feuerregime am Amazonas. Könnten eine beschleunigte Umwandlung des Waldes und waldschädliche Wirtschaftsaktivitäten in Wechselwirkung mit den regionalen Klimaveränderungen dazu führen, dass ein großer Teil des Waldsystems in den nächsten 20 Jahren ersetzt oder degradiert wird? Welche regionalen und globalen Folgen hätte eine großflächige Umwandlung des Waldes durch Landwirtschaft und Viehzucht, kombiniert mit Walddegradation durch Holzeinschlag, Feuer und Trockenheit? Und welche entgegengewirkenden Entwicklungen könnten das drohende Absterben des Amazonaswaldes abwenden? Diese Fragen stehen im Mittelpunkt des vorliegenden Berichts. Er analysiert außerdem die Stu-

² Nicht veröffentlichte Schätzungen, die in einem anderen WWF-Bericht über Landwirtschaft und Viehzucht in der Amazonasregion beschrieben werden.

dienlage hinsichtlich der „Tipping Points“³ in den Öko- und Klimasystemen in Amazonien und beschreibt Prozesse, die dazu beitragen könnten, dass es nicht so weit kommt.

Dürre, Feuer und der ökologische Tipping Point

Die meisten Wälder im Amazonasbecken sind sehr feuerresistent. Zum Höhepunkt der Trockenzeit kann man Kerosin auf die trockenen Blätter und Zweige am Waldboden gießen, es anzünden und zuschauen, wie das Feuer wieder ausgeht. Diese hohe Feuerresistenz ist den Grundbesitzern der Region wohlbekannt; sie können ihre Felder und Weiden ungestraft anzünden, denn die Wälder um sie herum funktionieren wie gigantische Schutzwälle, die dafür sorgen, dass sich die Feuer nicht ausbreiten können (Nepstad *et al.* 1999b). 1985 wurde entdeckt, dass die Amazonaswälder schon früher Waldbränden ausgesetzt waren. Robert „Buck“ Sanford und seine Mitarbeiter legten 6.000 Jahre alte Holzkohlefragmente aus dem Boden verschiedener Amazonaswälder vor (Sanford *et al.* 1985). Die Anthropologin Betty Meggers baute darauf auf und fand weitere Holzkohledaten und andere Hinweise darauf, dass große Flächen des Amazonaswaldes in den letzten 2.000 Jahren alle 400–700 Jahre gebrannt haben und dass diese Feuer scheinbar mit schweren Dürren in Zusammenhang standen (Meggers 1992). Heute ist die Region aus viel schwerwiegenden klimatischen Gründen langen Dürreperioden ausgesetzt, die zu den Vegetationsveränderungen durch den Menschen noch hinzukommen.

Eine der großen Veränderungen in der Amazonasregion in den letzten 50 Jahren war und ist der kürzere zeitliche Abstand zwischen den Waldbränden, verursacht durch den Eingriff des Menschen in die Wald-

landschaft. Zwischen zwei Waldbränden liegen nicht mehr Jahrhunderte – manche Wälder fangen alle 5–15 Jahre Feuer (Cochrane *et al.* 1999, Alencar *et al.* 2006). Und mit jedem weiteren Brand werden die Wälder anfälliger für das nächste Feuer. *Der ökologische Tipping Point der Amazonaswälder ist erreicht, wenn sie so leicht entflammbar geworden sind, dass regelmäßige Brände praktisch unvermeidbar sind.* Um diesen ökologischen Tipping Point zu verstehen, müssen wir das Geheimnis der bemerkenswerten Feuerfestigkeit der Amazonaswälder verstehen und wie Störungen diese Feuerfestigkeit beeinflussen können. Um Feuer zu verbreiten, muss die Brennmaterialschicht eines Amazonaswaldes – tote Blätter und Zweige auf dem Boden – trocken genug sein. Ein solcher Austrocknungsgrad ist bei einem ausgewachsenen Tropenwald selten, weil die Luftfeuchtigkeit sehr hoch ist. Nachts ist es sogar nach mehreren aufeinander folgenden Wochen ohne Regen meistens so feucht, dass die Luft feuchtigkeitsgesättigt ist, wenn sie abkühlt, und die dünne Brennmaterialschicht nimmt einen Teil dieser Feuchtigkeit auf. Solange die Brennmaterialschicht von einem dichten Blätterdach 30–45 m über dem Boden beschattet wird, trocknet sie selten stark genug aus, um Feuer zu fangen (Uhl und Kauffman 1990).

Und das ist genau das Problem. In großen Teilen des Amazonasbeckens wird das Blätterdach durch rücksichtslosen selektiven Holzeinschlag, Trockenheit und durch das Feuer selbst ausgedünnt, sodass mehr und mehr Sonnenlicht bis zu der dünnen Brennmaterialschicht am Waldboden durchdringt. Bäume, die gefällt und entfernt werden (Nepstad *et al.* 1999a, Asner *et al.* 2005), Bäume, die durch Dürre und Bäume die durch Feuer getötet werden, hinterlassen Löcher im Blätterdach für die starken Strahlen der Äquatorsonne, die dann die dünne Brennmaterialschicht am Boden austrocknet. Und je mehr Sonnenlicht ins Innere des Waldes gelangt, desto mehr lichtliebende Pflanzen können dort heimisch werden, die die Brennbarkeit des Waldes weiter erhöhen. Noch sind sie selten im Amazonasgebiet, aber hochentzündliche Gräser, Farne und Bambusse können im Unterwuchs heimisch werden und den Wald sehr viel anfälliger für Feuer machen. Wenn diese beschädigten Wälder Feuer fangen, sterben noch mehr Bäume, und die Invasion durch Gräser, Farne und Bambusse setzt sich in Form eines Teufelskreises fort. (Bild 1)

³ Der „Tipping Point“ ist der Moment, in dem eine Tendenz oder ein soziales Verhaltensmuster eine Schwelle überschreitet, um sich dann plötzlich schnell auszubreiten (Grodzins 1958, Schelling 1971, Granovetter 1978). Das Konzept stammt aus der Epidemiologie, wo es die Verbreitung von Krankheiten beschreibt und davon ausgeht, dass kleine Veränderungen kleine oder gar keine Auswirkungen auf ein System haben, bis eine kritische Masse erreicht ist. Dann „kippt“ eine kleine Veränderung das System und hat große Auswirkungen. Ein ähnliches Konzept von Systemstabilität wurde entwickelt, um die Kapazität eines Systems zu beschreiben, Störungen zu vertragen, ohne zusammenzubrechen und den qualitativen Zustand zu verändern, der von anderen Prozessen gesteuert wird (Holling 1973, Gunderson und Holling 2002, Gunderson *et al.* 2002).

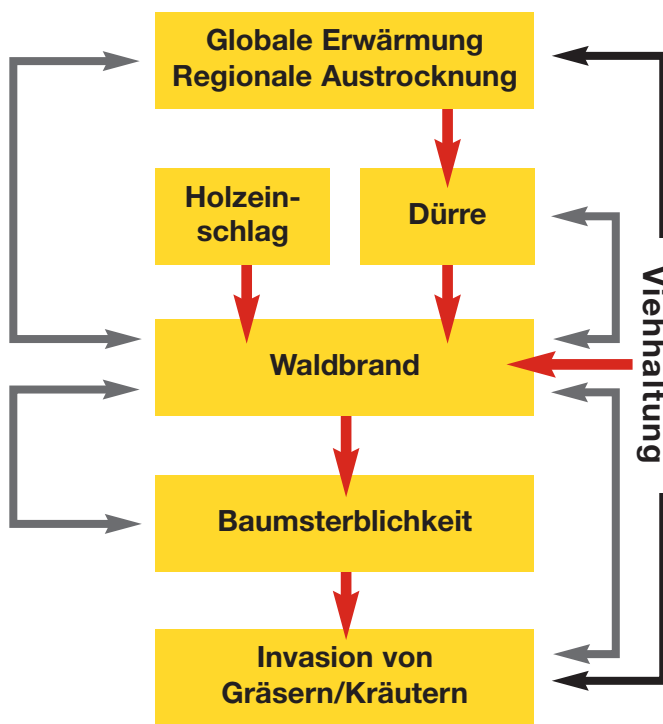


Bild 1: Die Prozesse und Wechselwirkungen, die die Amazonaswälder in Richtung der ökologischen „Tipping Points“ steuern. Ein solcher Tipping Point ist erreicht, wenn die gigantischen Urwaldriesen Feuer, Dürre oder Holzeinschlag zum Opfer fallen und für leicht entflammables Dickicht im Unterwuchs Platz machen. Noch ist das zwar selten in Amazonien, aber dieser vom Menschen verursachte Prozess der Walddegradation kann durch die Invasion leicht brennbarer Gräser, Farne und Bambusse verschärft werden.

Massenbaumsterben aufgrund von Dürre ist erstaunlich selten, aber entscheidend für das Verständnis, wie kleine Veränderungen in der Niederschlagsmenge dazu führen, dass große Gebiete des Amazonaswaldes ihre ökologischen Tipping Points überschreiten. Eines der großen ökologischen Rätsel der Amazonaswälder ist ihre Fähigkeit, schwere jahreszeitliche Dürren ohne sichtbare Anzeichen von Trockenstress zu überstehen. Manche Forscher berichten sogar von Satellitenbildern, die zeigen, dass das Blätterdach des Amazonaswaldes zu Beginn einer Trockenzeit „aufgrünt“ (Saleska *et al.* 2007, Myneni *et al.* 2006), obwohl Feldmessungen nur schwache Hinweise auf dieses Phänomen geben. Fast die Hälfte der Amazonaswälder ist 3–5 Monate im Jahr einer jahreszeitlichen Dürre ausgesetzt; dann fallen monatlich nur 0–3 cm Regen (Nepstad *et al.* 1994, 2004)⁴. Allmählich beginnen wir zu verstehen, dass diese bemerkenswerten Ökosysteme Mechanismen entwickelt haben, um in Zeiten mit geringen Nieder-

⁴ Die Amazonaswälder verlieren in der Trockenzeit etwa 12 cm Wasser im Monat durch Evapotranspiration (Evaporation und Transpiration).

schlagsmengen üppige, grüne Blätterdächer zu behalten. Der wichtigste Anpassungsprozess scheint die tiefe Verwurzelung (> 10 m) vieler Bäume zu sein, die es ihnen ermöglicht, Wasserreserven aus den Tiefen des Bodens zu beziehen, während die Bodenfeuchtigkeit nahe der Oberfläche in niederschlagsarmen Zeiten nach und nach abnimmt (Nepstad *et al.* 1994; 2004; 2007, Bruno *et al.* 2006; Hodnett *et al.* 1995). In der Trockenzeit kommen 75 Prozent des Wassers, das über die Atmung der Blätter an die Atmosphäre abgegeben wird, aus über 2 Metern Tiefe (Nepstad *et al.* 1994). Kürzlich wurde entdeckt, dass die Bäume am Amazonas erhebliche Mengen Feuchtigkeit aus dem Tau aufnehmen, der sich in der Trockenzeit auf ihren Blättern bildet (Cardinot 2007).

Die Dürretoleranz des Amazonaswaldes hat jedoch ihre Grenzen, und indem wir diese Grenzen verstehen, wird uns klar, wie nah diese Ökosysteme daran sind, umzukippen. Kürzlich wurde ein 7-jähriges Experiment durchgeführt, um festzustellen, bei wie viel Trockenstress die Amazonaswälder anfangen, durch Baumsterben zugrunde zu gehen. In 5 aufeinanderfolgenden Jahren wurde die Regenmenge in einem 1-Hektar-Waldstück um ein Drittel gesenkt, indem 5.600 Kunststoffplatten über dem Boden angebracht wurden (Nepstad *et al.* 2002). Im dritten Jahr des Experiments wurde eine Schwelle erreicht: Die gigantischen Urwaldriesen begannen zu sterben, als ihnen das Wasser in den oberen 11 m Boden knapp wurde (Nepstad *et al.* 2007). Innerhalb eines Jahres starben Bäume, die 10 Prozent des Gesamtgewichts aller Bäume ausmachten. Scheinbar erliegen sogar diese beeindruckenden, tief wurzelnden, gigantischen Bäume der Dürre und sterben, wenn sie nicht genug Wasser aus dem Boden beziehen können, um das über die Blätter verdunstende Wasser zu ersetzen. In den El-Niño-Jahren 1997 und 1998 könnte bis zu ein Drittel der Amazonaswälder an die Schwelle einer tödlichen Dürre getrieben worden sein⁵ (Nepstad *et al.* 2004, Bild 2), obwohl es wenige Feldmessungen gibt, die das genaue Ausmaß des Schadens belegen. Im zentralen Amazonasbecken hat sich die Baumsterblichkeit infolge dieser Dürre um 50 Prozent erhöht (Williamson *et al.* 2000). Gleichzeitig ist die Baumsterblichkeit während dieses El-Niño-Phänomens in Regenwäldern weltweit stark gestiegen (Nakagawa *et al.* 2000, van Nieuwstadt und Shiel 2005).

⁵ El-Niño-Episoden werden in Amazonien, in Kalimantan und in vielen anderen Regionen der Tropen mit schweren Dürren in Verbindung gebracht, andernorts wiederum mit erhöhtem Niederschlag.

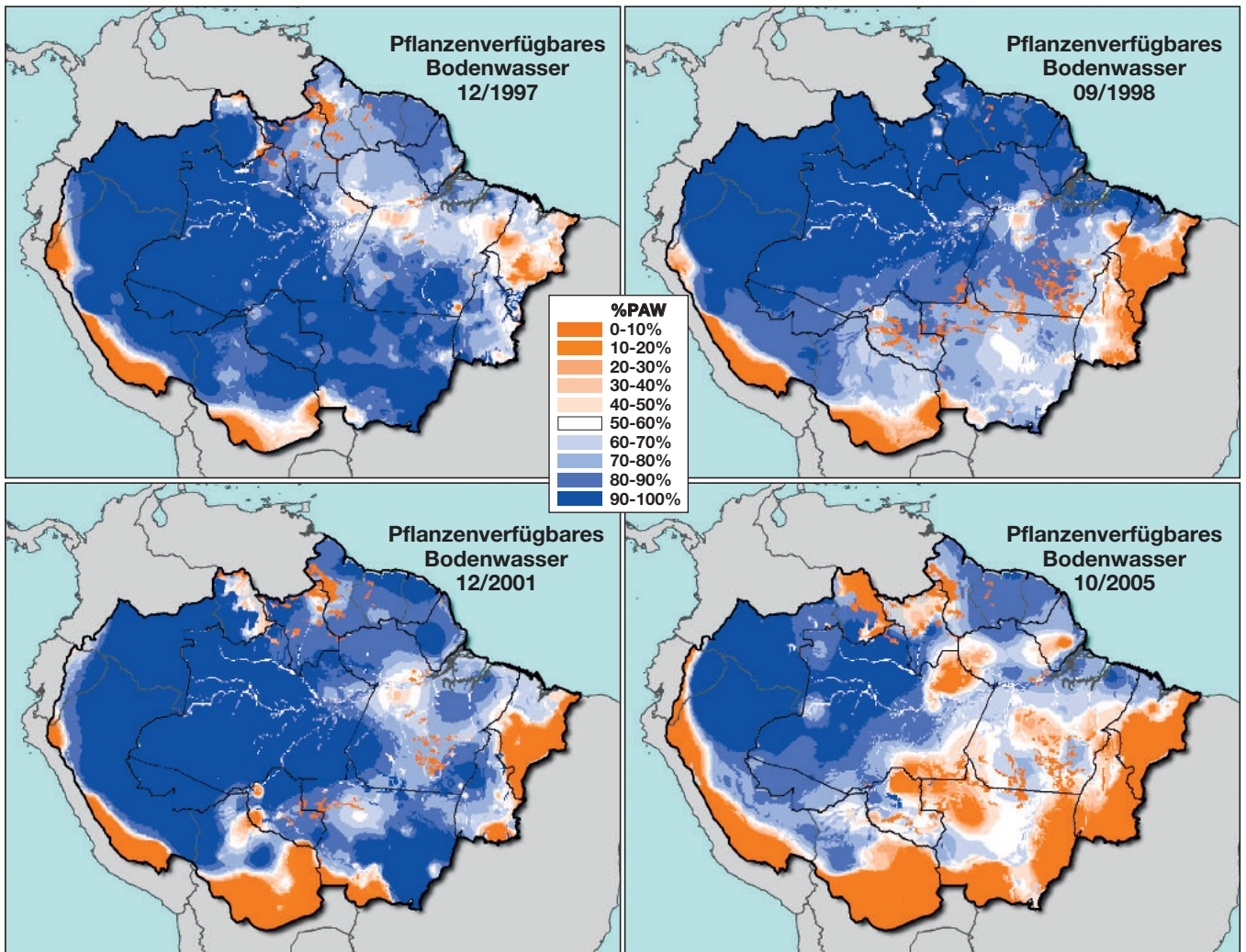


Bild 2: Die Abbildungen zeigen die Bodenfeuchtigkeit im Amazonasgebiet zu 4 Zeitpunkten schwerer Dürren. Diese Karte ist eine Schätzung des maximalen Anteils an pflanzenverfügbarem Bodenwasser bis zu 10 m Tiefe, basierend auf der monatlichen Niederschlagsmenge und Evapotranspiration, aktualisiert von Nepstad *et al.* 2004. Feldstudien zufolge beginnt die dürrebedingte Baumsterblichkeit, wenn das pflanzenverfügbare Bodenwasser auf 30 Prozent seines Maximums fällt (Nepstad *et al.* 2007), - hier braun eingezeichnet. Die Verringerung der Bodenfeuchtigkeit entlang der Anden wird überschätzt, weil wenige Daten zur Verfügung stehen und es Interpolationsfehler gibt.

Das dürreinduzierte Sterben eines der wichtigsten Organismen im Amazonaswald – der Urwaldriesen – kann die Feueranfälligkeit auf Jahre hinaus erhöhen (Ray *et al.* 2005, Brando *et al.*, in der Presse). Denn die immergrünen Blätterkronen dieser Bäume schützen den Wald vor der intensiven Äquatorsonne wie ein riesiger Sonnenschirm, den zu ersetzen Jahre dauert. Die Blätterkrone eines ausgewachsenen Amazonaswaldes, die sich 45 m über dem Boden oder höher wölbt, trennt die starke Hitze über der Blätterkrone, wo der größte Teil der Sonnenenergie abgefangen wird, vom dunklen, feuchten Waldboden weit darunter. Jeder abgestorbene Kronenbaum hinterlässt eine Lücke in der Baumkrone, durch die Sonnenlicht in den Wald gelangt, in dem es dann wärmer wird. Die Hitze und die Trockenheit am Waldboden sind entscheidend für die Brennbarkeit des Waldes und weit höher, wenn das Blätterdach spärlich oder nahe am Boden ist (Ray *et al.* 2005).

Die zentralen Wälder am Amazonas fangen nur selten durch Blitzschlag Feuer, aber Brandursachen durch menschliche Aktivitäten werden immer häufiger. Feuer, die gelegt werden, um kahlgeschlagene Gebiete abzubrennen und das Land auf Pflanzungen oder zur Verwendung als Weideland vorzubereiten oder um die Weidefutterqualität zu verbessern, entkommen immer wieder in benachbarte Wälder. Während der schweren Dürre 1998 fingen etwa 39.000 km² des stehenden Waldes im brasilianischen Teil des Amazonasbeckens Feuer (Alencar *et al.* 2006) – etwa doppelt so viel Waldfläche, wie im selben Jahr geplant entwaldet wurde. Während der schweren Dürre im Jahr 2005 (Aragão *et al.* 2007) brannten mindestens 3.000 km² stehenden Waldes in den Regionen Madre de Dios und Pando sowie im brasilianischen Bundesstaat Acre im Südwesten des Amazonasbeckens ab (Brown *et al.* 2006). Diese niedrigen, langsamen Feuer sind viel zerstörerischer,

als es den Anschein hat, und töten 7–50 Prozent der erwachsenen Bäume (Bäume mit einem Durchmesser > 10 cm) (Alencar *et al.* 2006, Balch *et al.* eingereicht, Barlow und Peres 2004, Cochrane und Schulze 1999). Waldbrände können deshalb die Anfälligkeit für weitere Brände in einem Teufelskreis erhöhen: Die Bäume werden getötet, dadurch öffnet sich das Blätterdach, und mehr Sonnenlicht gelangt bis zum Waldboden (Nepstad *et al.* 1995, 1999, 2001, Cochrane *et al.* 1999). Selektiver Holzeinschlag kann bis zu 50 Prozent des Blätterdachs beschädigen (Uhl und Vieira 1989), und ist der drittgrößte Faktor, der die Brandgefahr in den Wäldern erhöht (Uhl und Kauffman 1990, Holdsworth und Uhl 1997, Ray *et al.* 2005).

Wälder, die mit einer hohen Baumsterblichkeit aufgrund von Dürre, Feuer und/oder selektivem Holzeinschlag schon über ihren Tipping Point hinaus sind, werden schnell zu entflammbarem Dickicht oder Unterholz (Bild 1). Feldbeobachtungen im Nordosten des Bundesstaats Mato Grosso, im Südosten und im Osten des Bundesstaats Pará und in der Nähe von Santarém haben ergeben, dass diese feueranfällige Vegetation in erster Linie aus invasiven, sich schnell ausbreitenden Baumarten (wie z. B. *Solanum crinitum* und *Vismia guianensis*) und manchmal Gräsern (darunter *Imperata brasiliensis*, *Paspalum* spp.), Bambussen (*Guandu* spp.) und Farnen (z. B. *Pteridium aquilinum*) besteht (Nepstad D, unveröffentlichte Daten). Noch kommt es zwar nicht häufig vor, aber Wälder, in die Gräser eindringen, sind vielleicht am anfälligsten für Degradation, wegen der großen Menge Brennmaterial, die viele Gräser produzieren und weil sich die Gräser hemmend auf die Regeneration der Bäume auswirken (Nepstad *et al.* 1996). In Südostasien dominiert eine einzige Grasart (*Imperata cylindrica*) heute etwa ein Gebiet von 300.000 km², auf dem früher ein Wald mit einem geschlossenen Kronendach stand (McDonald 2004).

Unser Verständnis der Abnahme der ökologischen Qualität im Amazonas-Regenwald ist noch sehr lückenhaft. Wälder, die auf nährstoffarmen Böden wachsen, z. B. auf weißem Sand, entwickeln oft dicke Wurzelmatte über dem Mineralboden (Kauffman *et al.* 1988) und sind vielleicht besonders gefährdet durch Baumsterben wegen Feuer, da ein beträchtlicher Anteil des Wurzelsystems den Flammen zum Opfer fallen kann.

Der ökologische Tipping Point der Amazonaswälder ist von Ort zu Ort unterschiedlich, aber es zeigen sich einige allgemeingültige Muster. Wälder sind am ehesten

dem langsamen Absterben ausgesetzt, wenn a) Dürren, Feuer oder Holzeinschlag viele Bäume vernichten, b) nach Vernichtung der Bäume reichlich Samen oder Sporen von leicht entzündlichen Gräsern, Farnen oder Bambussen vorhanden sind, c) es Zündquellen gibt und d) der Wald unter einer schweren saisonalen oder vorübergehenden Dürre leidet. Der Anteil des Amazonaswaldes, der vorübergehend schweren Dürren ausgesetzt ist, ist groß (Bild 2) und könnte in Zukunft noch größer werden – aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels, der ungebremsten Entwaldung und der veränderten Landnutzung.

Entwaldung, Rauch, globale Erwärmung und der klimatische Tipping Point

Seit über 20 Jahren nutzen verschiedene Wissenschaftlerteams Computermodelle ähnlich wie Kristallkugeln, um die zukünftigen Zusammenhänge zwischen dem Amazonaswald und dem Klima vorauszusagen. Wie wird sich das Klima am Amazonas ändern, wenn sich Treibhausgase in der Atmosphäre ansammeln, weil Wälder zu Weideland gemacht werden oder das *El-Niño*-Phänomen häufiger auftritt? Keine dieser Simulationen ist perfekt, aber in einigen Aspekten sind sie sich einig: Scheinbar geht die Amazonasregion auf eine trockenere, wärmere Zukunft zu; die Niederschlagsmenge wird sich nach den Prognosen v. a. in der Trockenzeit und während der *El-Niño*-Episoden reduzieren, gerade zu dem Zeitpunkt, wenn die Vegetation auf eine geringere Niederschlagsmenge besonders empfindlich reagiert. Entwaldung reduziert ebenfalls die Niederschlagsmenge und lässt die Temperaturen steigen, während dichter Rauch die Trockenzeit um mehrere Wochen verlängern kann. Mit anderen Worten, zukünftige Entwicklungen im Klima am Amazonas könnten die bereits fortschreitende Degradation durchaus verschärfen.

Die wachsende Konzentration von Kohlendioxid, Methan und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre ist das Thema verschiedener Computer-Modellexperimente, bei denen globale Zirkulationsmodelle (Global Circulation Models, GCMs) eingesetzt werden. Diese Modelle können das künftige Klima auf der Welt genauso simulieren wie die Reaktion des Klimas auf den wachsenden Strahlungsantrieb in der Atmosphäre, der auf die Ansammlung von Treibhausgasen zurückgeführt wird. Über 60 Prozent der 23 GCMs, die mit Szenarien einer Akkumulation von Treibhausgasen liefen, sehen einen beträchtlichen Rückgang (> 20 Prozent) der Nie-

erschlagsmenge im Osten Amazoniens bis zum Ende des Jahrhunderts voraus (IPCC 2007, Malhi *et al.* in der Presse, Bild 3). Diese Modelle sagen eine Erhöhung der Niederschlagsmenge im Westen Amazoniens voraus, wo der Steigungsregen an den Anden wegen der höheren Luftfeuchtigkeit aufgrund der globalen Erwärmung zunehmen könnte. Allein die globale Erwärmung wird wahrscheinlich die Niederschlagsmenge im östlichen Amazonien reduzieren.

Da sie um die wichtige Rolle wissen, die die Vegetation im Klima spielt, haben einige der Wissenschaftlerteams ihre GCMs um „dynamische Vegetationsmodelle“ ergänzt. Diese simulieren, wie Klimaveränderungen sich auf den Standort verschiedener Vegetationstypen auswirken und wie diese Änderungen in der Vegetation wiederum das Klima beeinflussen. Eines der dramatischsten Ergebnisse kam vom britischen Hadley Center. Es prognostiziert eine großflächige, langfristige Ersetzung des Amazonaswaldes durch savannenähnliche und semiaride Vegetation bis zum Ende des Jahrhunderts, sowie einen Anstieg der Durchschnittstemperatur um 8°C (Cox *et al.* 2000, 2004). Andere Gruppen haben ähnliche Belege für einen neuen, anhaltenden

Vegetations- und Klimazustand am Amazonas gefunden, wobei ein Großteil des Waldes im Osten von dürresistenter Vegetation abgelöst würde (Salazar *et al.* 2007, Oyama und Nobre 2003, Botta und Foley 2002). Andere Modelle, die Klima und Vegetation simulieren, sagen dieses großflächige Waldsterben im Amazonasbecken jedoch nicht voraus (Friedlingstein *et al.* 2006, Gullison *et al.* 2007). Die globale Erwärmung kann dazu führen, dass große Gebiete des östlichen und mittleren Amazonaswaldes verdrängt werden, was die Tendenzen zu größerer Trockenheit verstärken würde.

Mehrere Klimamodelle, die auf der Annahme basieren, dass der Amazonaswald vollständig in Rinderweiden umgewandelt wird, sagen eine starke Verringerung der Niederschlagsmengen und höhere Temperaturen voraus (Nobre *et al.* 1991, Shukla und Nobre 1990, Lean und Warrilow 1989). Zwei Teams (Sampaio *et al.* 2007, da Silva *et al.* 2007) haben das zukünftige Klima am Amazonas mit Hilfe von Prognosen für die zukünftige Entwaldung simuliert (Soares *et al.* 2006). Dabei haben Silva *et al.* (2007) mit einem hochauflösenden Modellsystem herausgefunden, dass die Rodungen die Austrocknungstendenzen im Amazonaswald verschärfen könnten, die sich vermutlich aus der globalen

Erwärmung ergeben werden, besonders während der El-Niño-Episoden; die absolute Reduzierung der Niederschlagsmenge liegt jedoch unter der von den GCMs vorausgesagten. Sampaio *et al.* (2007) haben außerdem Belege dafür gefunden, dass die Niederschlagsmenge mit

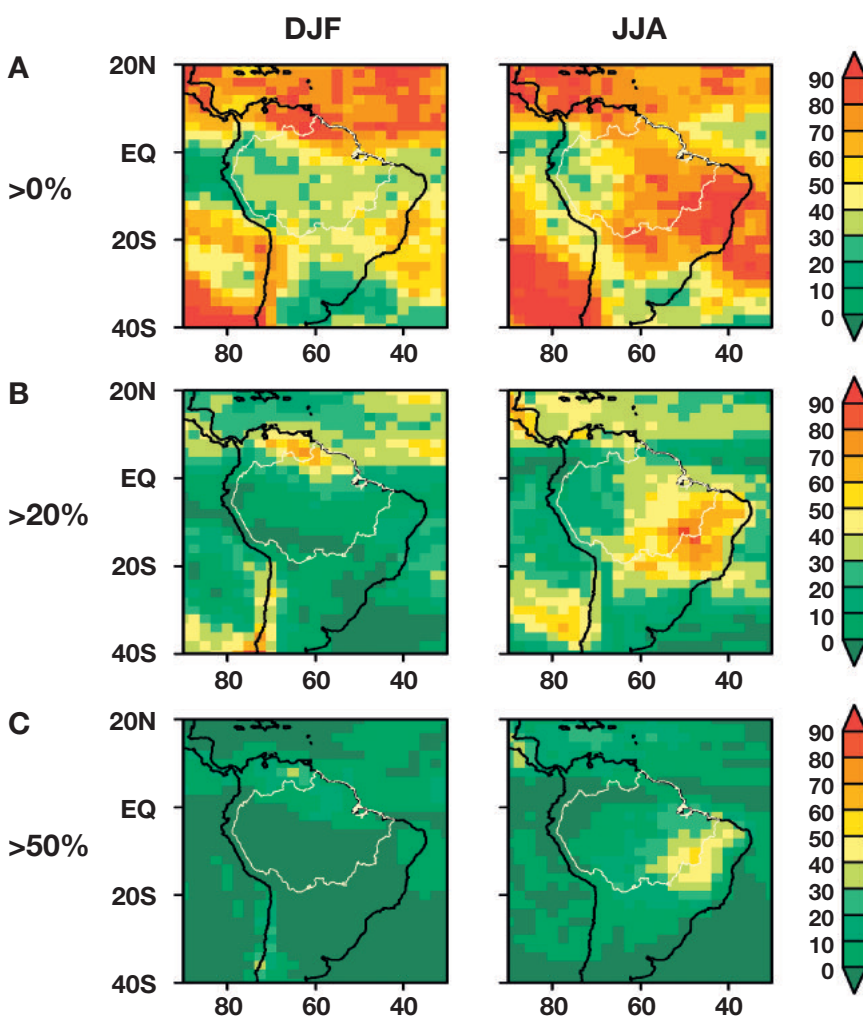


Bild 3: Die meisten Klimamodelle sagen eine erhebliche Austrocknung (> 20 Prozent) im Osten Amazoniens zum Ende des Jahrhunderts voraus. Diese Karten fassen die Ergebnisse der 23 GCM-Modelle zusammen, die unter den vorsichtigen Schätzungen des Weltklimarats hinsichtlich einer Akkumulation von Treibhausgasen bis zum Ende des Jahrhunderts gelaufen sind. Der Balken rechts zeigt das Farbschema für den Anteil dieser Modelle, die eine erhöhte Trockenheit für Amazonien zum Ende des Jahrhunderts voraussagen, von einer unbestimmten Erhöhung (A) über eine Erhöhung von mindestens 20 Prozent (B) bis zu einer Erhöhung von mindestens 50 Prozent (C). Die Prognosen beziehen sich auf die Trockenzeit im nördlichen Amazonien (Dezember, Januar, Februar, links) und im südlichen Amazonas (Juni, Juli, August, rechts) (Malhi *et al.* in der Presse).

der vorrückenden Entwaldungsfront weiter sinkt. Wenn nicht gerodet wird, um Rinderweiden zu schaffen, sondern um Sojabohnen anzubauen, könnte die Niederschlagsmenge viel stärker zurückgehen (Sampaio *et al.* 2007, Costa *et al.* 2007). Allein die Entwaldung senkt die Niederschlagsmenge, besonders, wenn 30 Prozent oder mehr Fläche entwaldet werden.

Die GCM-Modelle sagen auch voraus, dass die globale Erwärmung die Lufttemperaturen in Amazonien erhöhen wird. Die meisten Hochrechnungen gehen dabei von einer Erhöhung der Durchschnittstemperaturen von ungefähr 2°C aus; bei einigen sind es aber sogar 8°C (IPCC 2007). Bei höheren Temperaturen verdunstet Wasser schneller, was die zunehmende Trockenheit aufgrund niedrigerer Niederschlagsmengen verschärft.

Während sich die globale Erwärmung verstärkt, wird sich die zeitliche Verteilung der Niederschläge in Amazonien voraussichtlich ebenfalls verändern. Den größten Rückgang der Niederschläge wird es wahrscheinlich in der Trockenzeit geben (Bild 3), wenn der meiste Regen durch feuchte Luft entsteht, die vom Boden aufsteigt. Die Vegetation reagiert gerade in der Trockenzeit besonders empfindlich auf Wassermangel. Wenn sich Energie und Feuchtigkeit in der Atmosphäre erhöhen, werden extreme Wetterereignisse wie sintflutartige Regenfälle und Stürme voraussichtlich häufiger (IPCC 2007), was zu noch mehr Störungen in Amazonien führt.

Die Klima-Vegetations-Modelle sind grobe Instrumente beim Versuch, das Schicksal Amazoniens in einer sich rasch verändernden Umwelt zu verstehen. Aber sie ermöglichen uns einen wichtigen Blick auf das Klima zum Ende des Jahrhunderts. Es ist wichtig, die bereits laufenden Veränderungen des Amazonasklimas zu untersuchen, die die Wälder der Region in den nächsten 10–30 Jahren gestalten könnten. Vorübergehende Dürren, die es bereits heute in Amazonien gibt, sind vielleicht schon ausreichend, um eine großflächige Verwandlung der Wälder in Buschlandlandschaften zu fördern.

Die derzeitigen Klimaschwankungen am Amazonas werden oft mit Änderungen der Meeresoberflächentemperatur in Verbindung gebracht. Die Temperatur der Meeresoberfläche hat einen Einfluss darauf, wo auf dem Planeten warme feuchte Luft aufsteigt und Regen produziert und wo trockene, kühlere Luft absinkt und Regen verhindert. Im östlichen Amazonien geht der Niederschlag meist zurück, wenn die Meeresoberflächentemperatur an der Pazifikküste im Norden Südamerikas während der El-Niño-Episoden ansteigt (Marengo *et al.* in der Presse). Der Erwärmung der

Meeresoberfläche zwischen Westafrika und dem Golf von Mexiko – die so genannte Northern Tropical Atlantic Anomaly (NTAA) – steht ebenfalls mit Dürre im Amazonasbecken in Verbindung, hat aber die größte Auswirkung im Westen Amazoniens (Marengo *et al.* in der Presse). Einige Klimaforscher gehen davon aus, dass die Anomalien der Meeresoberflächentemperaturen mit zunehmender Akkumulation von Treibhausgasen in der Atmosphäre häufiger werden (Timmerman *et al.* 1999, Hansen *et al.* 2006, Trenbarth und Hoar 1997).

Regionale Klimaanalysen und Modellversuche haben außerdem Belege für Veränderungen des lokalen Niederschlags im Zusammenhang mit Rodungen erbracht, z. B. für einen anfänglichen Anstieg der Niederschläge bei der Rodung kleiner Waldstücke, gefolgt von einem Rückgang der Niederschläge, wenn die Rodungsflächen größer werden (Silva Dias *et al.* 2002, da Silva und Avissar 2007).

Eine der wichtigsten Entdeckungen, um zu verstehen, wie wahrscheinlich das Erreichen eines klimatischen Tipping Points ist, ist das Verhindern von Niederschlag durch Rauchwolken (Andreae *et al.* 2004). Wenn Aerosolpartikel aus der Verbrennung von Biomasse in der Atmosphäre sehr dicht auftreten, entstehen zu viele Kondensationskerne, und einzelne Wassertropfen werden nicht schwer genug, um als Regen zu Boden zu fallen. Die Wissenschaft weiß noch nicht, wie stark dieses Phänomen die gesamte Niederschlagsmenge beeinflusst, aber es gibt Hinweise darauf, dass diese Niederschlagsverhinderung in der Landwirtschaft bereits zu spüren ist. Piloten und Landwirte im Quellgebiet des Xingu im brasilianischen Bundesstaat Mato Grosso behaupten, die Regenzeit beginne später im Jahr, wenn der Rauch dicht ist (J. Carter, persönliche Mitteilung). *Dichter Rauch kann den Beginn der Regenzeit um Wochen verschieben.*

Neuer Entwaldungsdruck kann Waldsterben beschleunigen

Verschiedene Entwicklungen in der Land- und Weidewirtschaft und auf den Rohstoffmärkten können die Rodung in Amazonien beschleunigen und damit die Wahrscheinlichkeit eines baldigen Waldsterbens erhöhen. Zunächst wurde in großen Gebieten im Süden und Osten Amazoniens die Maul- und Klauenseuche ausgerottet, sodass ein Großteil der Rinderindustrie der Region exportieren kann, was oft höhere Preise einbringt (Kaimowitz *et al.* 2004, Nepstad *et al.* 2006a, Arima *et al.* 2006). Wenn die Ausrottung der Maul- und Klauen-

seuche in ganz Lateinamerika gelingt (PAHO 2004), wird die Attraktivität der Rinderzucht noch weiter steigen. Zudem wächst die internationale Nachfrage z. B. nach Sojabohnen, aber geeignetes Land für agrarindustrielle Expansion ist in den USA, Westeuropa, China und vielen anderen Agrarländern knapp (Nepstad und Stickler in der Presse). Deshalb findet ein Großteil der weltweiten Expansion von Anbauflächen in Brasilien

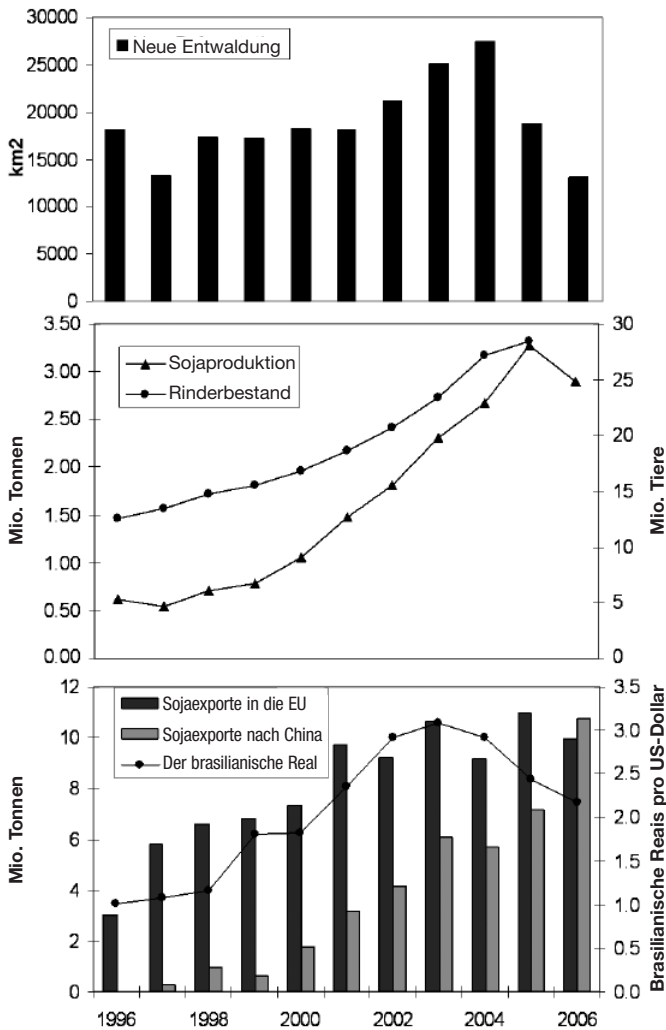


Bild 4: Jüngste Entwicklungen in der Entwaldung des brasilianischen Teils von Amazonien, der Expansion der Rinderherden und der Sojaproduktion im Amazonasbecken, im Wechselkurs der brasilianischen Währung (Real) zum US-Dollar und der brasilianischen Sojaexporte in die Europäische Union und nach China. Die steigende internationale Nachfrage nach Soja und anderen Agrarrohstoffen lässt neue Anbauflächen in Amazonien entstehen, und die Rinderhaltung verlagert sich weiter ins Innere der Region. Die neue Nachfrage nach Biokraftstoffen könnte diese Tendenz verstärken. Der kürzliche Rückgang in der Entwaldung wurde mit den sinkenden Preisen für Soja und Rindfleisch und mit der Aufwertung des brasilianischen Reals in Zusammenhang gebracht. Er kann aber ebenso von der Schaffung neuer Schutzgebiete durch das ARPA-Programm und durch höhere Regierungsinvestitionen für die Durchsetzung der Landnutzungsgesetze verursacht worden sein (aktualisiert von Nepstad *et al.* 2006). Anfängliche Schätzungen der Entwaldung im Jahr 2007 deuten eine stärkere Entwaldung an, vielleicht als Reaktion auf gestiegene Soja- und Rindfleischpreise.

statt, in den Regionen des Cerrado (Savanne) und des Amazonas, wo noch über 1.000.000 km² Land zur Verfügung stehen, die sich für den Ausbau der mechanisierten Landwirtschaft eignen (Shean 2004, Nepstad *et al.* 2006a, Bild 4). Schließlich hat der steigende Ölpreis in den USA, der Europäischen Union und in Brasilien politische Initiativen entstehen lassen, die Benzin und Diesel zunehmend durch Biotreibstoffe ersetzen wollen (Yacobucci und Schnepf 2007). Ethanol aus brasilianischem Zuckerrohr wird einen großen Teil der wachsenden Weltnachfrage nach Ethanol decken, denn es ist eine der weltweit effizientesten und günstigsten Formen von Ethanol (Pimentel und Patzek 2005, World Watch 2006, Xavier 2007), und die Produktion kann am besten ausgebaut werden. Auch wenn die Zuckerrohrproduktion hauptsächlich im Süden und in Zentralbrasilien erhöht wird, wird sich dies wegen der Verlagerung von Sojaproduktion und Rinderhaltung auch auf Amazonien auswirken. Und schließlich haben Programme zur Züchtung von Saatgut v. a. in Brasilien (Cattaneo in der Presse) eine Reihe von Sojaarten und anderen Feldfrüchten hervorgebracht, die die hohen Temperaturen und die Feuchtigkeit in Amazonien vertragen. Die Kombination dieser und anderer Faktoren sorgt für einen wachsenden wirtschaftlichen Druck, die Amazonaswälder in Acker- und Weideland umzuwandeln – damit gibt es in der Region mehr Waldbrände und mehr invasive Pflanzen, die leichter entzündlich sind. Außerdem könnte die entwaldungsbedingte Verhinderung von Niederschlägen aufgrund von Rauchentwicklung und veränderter Bodenbedeckung schneller stattfinden könnte als derzeit absehbar.

Eine weitere wichtige Veränderung, die derzeit in Amazonien stattfindet, wird die Rodung der Wälder ebenfalls beschleunigen, und zwar bis tief ins Innere der Region: die Asphaltierung und der Bau von Allwetterstraßen in Regionen, die zuvor einen „passiven“ Schutz genossen hatten, weil sie so weit abgelegen sind (Nepstad *et al.* 2000, 2001, 2002, Alves *et al.* 2003, Bild 5). Investitionen in Straßen senken die Transportkosten einerseits für den Materialeinsatz an der Landwirtschaftsgrenze, andererseits für die Produkte, die auf den Markt gehen. Damit erhöht sich die Rentabilität marktorientierter Land- und Viehwirtschaft in weiter abgelegenen Regionen. Auch der Ausbau von Wasserwegen wird diskutiert, besonders auf dem Madeira-Fluss, wo zwei neue Stauseen zur Erzeugung von Wasserkraft und für die Schifffahrt nach Bolivien genutzt werden könnten. Mit der Asphaltierung der Straße von Assis in Brasilien nach Cuzco in Peru, der bevorstehenden Asphaltierung der BR 310 von Manaus nach Porto Velho und der BR 163 von Santarém nach

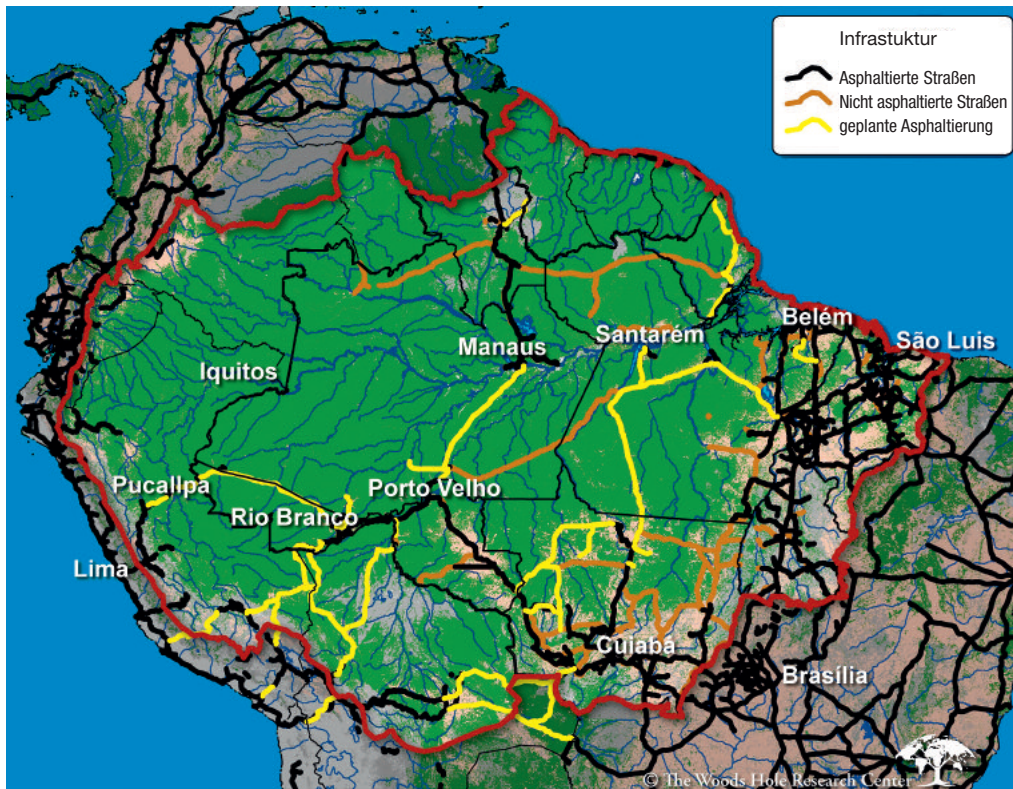


Bild 5: Schnellstraßen in Amazonien. Das Herz der Amazonasregion wird mit voranschreitender Asphaltierung bald bei jedem Wetter über Schnellstraßen (gelb) erreichbar sein. Durch Investitionen in Transportwege werden die Produktionskosten in der Vieh- und Landwirtschaft erheblich reduziert, was wiederum die Entwaldung rentabler macht.

Cuiabá werden Transportkosten über weite Regionen Amazoniens drastisch fallen, wodurch ein wirtschaftlicher Tipping Point wahrscheinlicher wird.

Mit Riesenschritten in Richtung Waldsterben

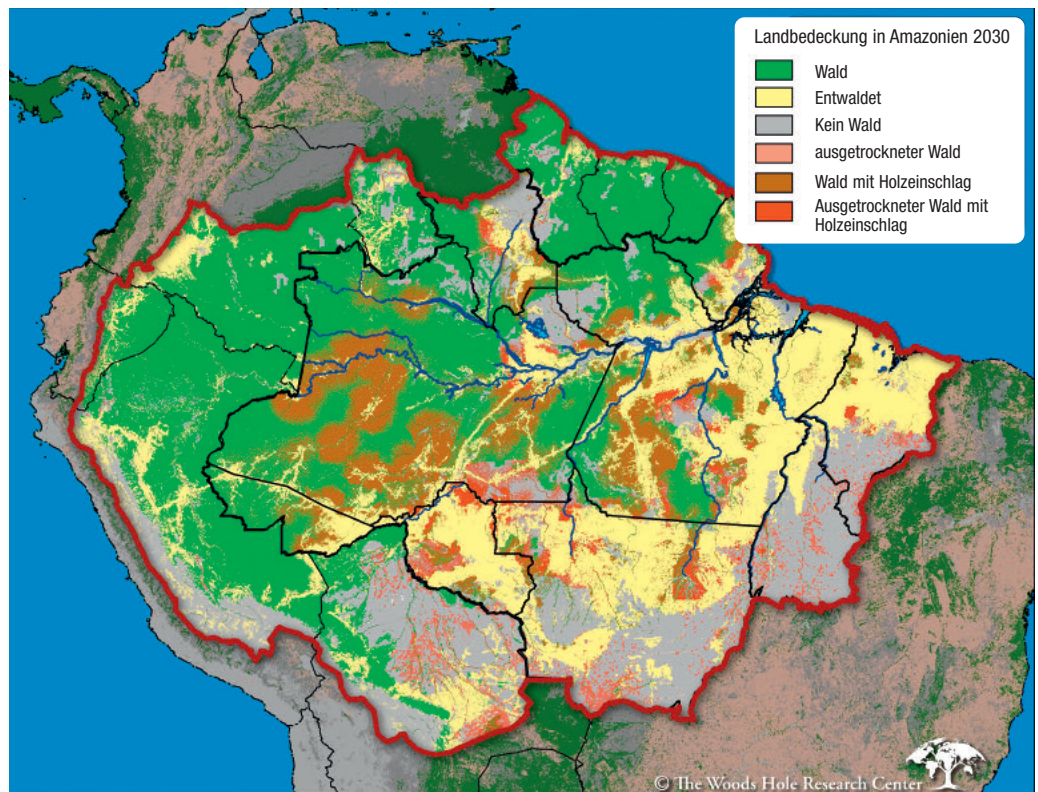
Viele Faktoren drängen den Amazonaswald in Richtung eines baldigen Absterbens. Holzfäller bauen ihre Straßennetze tiefer ins Herz Amazoniens. Sie entnehmen nur einen kleinen Teil des Holzes, aber sie dünne das Blätterdach durch Beschädigung der anderen Bäume stark aus. Den Holzfällern folgen Rinderfarmer mit Kettensägen, die den Wald zu Weideland machen; die Mittel dazu haben sie aus dem Verkauf ihrer Ländereien an Sojafarmer erzielt. Vermischt mit dem Saatgut ihrer afrikanischen Futtergräser ist auch schädliches Unkraut, das sich in der Landschaft ausbreitet und manchmal in Wälder eindringt, die schon durch Holzeinschlag und Feuer beschädigt sind. Vorübergehende schwere Dürren im Zusammenhang mit *El Niño* und der Northern Tropical Atlantic Anomaly (NTAA) trocknen große Teile der Wälder der Region aus, erhöhen deren Anfälligkeit für Feuer, das von den Feldern und den Weiden der Farmer übergreift, und fügen dem Wald weitere Schäden durch Baumsterben zu. Dichte Rauchwolken können die Trockenzeit um Wochen verlängern; dann fällt mehr Wald als oben beschrieben den außer Kontrolle geratenen Bränden zum Opfer.

Wie viel Zeit bleibt noch, um ein großflächiges Waldsterben am Amazonas zu verhindern? Wie lange wird es dauern, bis die sich gegenseitig verstärkenden Prozesse der zunehmenden Waldschädigung, der Niederschlagsverhinderung und der Abholzung die Hälfte des amazonischen Regenwaldes einfordern?

Der vorliegende Bericht ist eine vorläufige Einschätzung der Gefahr eines baldigen Waldsterbens und seiner ökologischen Folgen (Bild 6)⁶. Es handelt sich um vorsichtige Schätzungen, die davon ausgehen, dass sich die Entwaldungsrate auf demselben Niveau wie in den Jahren 1998–2003 (Soares *et al.* 2006) halten wird und dass sich das Klima der letzten 10 Jahre in der Zukunft fortsetzt; die Verhinderung von Regen durch Rauch oder Entwaldung wird nicht berücksichtigt. Wir gehen von einem Szenario ohne Waldbrände aus, auch wenn es wahrscheinlich ist, dass es in einem erheblichen Teil

⁶ Wir gehen davon aus, dass die Entwaldung wie von Soares *et al.* (2006) geschätzt unvermindert weitergeht, dass sich die Witterungsverhältnisse der zehn Jahre von Januar 1996 bis Dezember 2005 (aktualisiert von Nepstad *et al.* 2004) in Zukunft fortsetzen, dass Baumsterben einsetzt, wenn das pflanzenverfügbare Bodenwasser in bis zu 10 m Tiefe auf unter 30 Prozent der maximalen Menge fällt (unter Verwendung der Karte des maximalen pflanzenverfügbaren Bodenwassers in Nepstad *et al.* 2004 und den Zahlen zur Baumsterblichkeit bei Nepstad *et al.* 2007) und dass sich der Holzabbau in ganz Amazonien ausdehnen wird, wie es in dem wirtschaftlichen Pachtmodell von Merry *et al.* (in Revision) beschrieben wird.

Bild 6: Ein Wald im Endspurt zum ökologischen und klimatischen Tipping Point? Karte von Amazonien im Jahr 2030, die düregeschädigte, durch Holzeinschlag beeinträchtigte und gerodete Wälder zeigt. Diese Karte geht davon aus, dass die Entwaldungsraten von 1997–2003 stabil bleiben und dass sich das Klima der letzten 10 Jahre in der Zukunft fortsetzt. Weitere Informationen finden sich im Text.



der Wälder, die durch Dürre und/oder Holzeinschlag beschädigt sind, sowie in anderen, unbeschädigten Wäldern zu Bodenfeuern kommen wird. Unter diesen Annahmen wären bis zum Jahr 2030 31 Prozent der Amazonaswälder mit geschlossenem Kronendach entwaldet (im Vergleich zu 17 Prozent heute), und 24 Prozent⁷ durch Trockenheit oder Holzeinschlag beschädigt. Geht man davon aus, dass die Niederschlagsmenge in Zukunft um 10 Prozent zurückgeht, werden weitere 4 Prozent der Wälder durch Dürre geschädigt.

Wenn wir davon ausgehen, dass die Freisetzung von Kohlenstoff durch Entwaldung den Beschreibungen von Soares *et al.* (2006) entspricht, dass weiterhin selektiver Holzeinschlag 15 Prozent des in den Wäldern gespeicherten Kohlenstoffs in die Atmosphäre freisetzt (Asner *et al.* 2005), dass Dürreschäden die Biomasse der Wälder um 10 Prozent reduzieren (Nepstad *et al.* 2007) und dass schließlich Waldbrände 20 Prozent der durch Dürre oder Holzfällen geschädigten Wälder vernichten und dabei weitere 20 Prozent des gespeicherten Kohlenstoffs freigeben - dann werden in den Anfangsphasen eines Waldsterbens 15–26 der 90–140 Milliarden Tonnen des in den Amazonaswäldern gespeicherten Kohlenstoffs in die Atmosphäre abgegeben. Mit anderen Worten, die Veränderungen, die heute

in Amazonien stattfinden, könnten viele der Fortschritte in der Reduzierung der Treibhausgasemissionen die im Kyoto-Protokoll ausgehandelt wurden, rückgängig machen – das, wenn es vollständig umgesetzt wird, in den Jahren 2008–2012 zu einer Reduktion von 2 Milliarden Tonnen Kohlenstoffemissionen führen kann.

Das kurz bevorstehende Waldsterben wird besonders auf Kosten der Bewohner der Amazonas-Region gehen. Waldbrände allein werden Hunderte von Opfern unter den Einwohnern Amazoniens fordern; Zehntausende werden an Bronchialbeschwerden erkranken. Reise- und Stromverbindungen werden unterbrochen, und viele ländliche Investitionen, zum Beispiel in Weidezäune, Obstplantagen und Waldbewirtschaftung werden verloren gehen.

Die Kosten eines Waldbrands im brasilianischen Amazonien können sehr hoch sein. 1998 beliefen sich die Auswirkungen auf Gesundheit, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und den Kohlenstoffhaushalt auf bis zu 5 Milliarden US-Dollar (Mendonça *et al.* 2003). Häufigere und schwerere Dürren werden zu Fischsterben und niedrigen Flusswasserständen führen, durch die Ansiedlungen am Flussufer vom Zugang zu Märkten, medizinischer Versorgung und Schulen in der Nähe abgeschnitten werden (Marengo *et al.* in der Presse).

⁷ Es gibt keine Schätzungen der Schädigung durch Holzeinschlag, Feuer und Dürre für das gesamte Amazonasbecken.

Viele der Verluste durch ein Absterben des Waldes sind schwieriger finanziell zu quantifizieren. Bis zum Jahr

2050 werden vier Ökoregionen auf weniger als 15 Prozent ihrer jetzigen Fläche reduziert werden, darunter der Babassuwald im brasilianischen Bundesstaat Maranhão, der Trockenwald am Marañon und der Trockenwald von Tumbes/Piura (Soares *et al.* 2006). Die Nebelwälder in Bolivien und Peru könnten verschwinden, wenn der regionale Klimawandel Niederschläge und die Bildung von hohen Wolken verhindert, die für dieses Ökosystem überlebensnotwendig sind – ein Prozess, der bereits zum Aussterben der Goldkröte in den mittelamerikanischen Kordillern geführt hat (Lawton *et al.* 2001). Die globale Erwärmung allein könnte die Klimagürtel in den Ost-Anden schneller nach oben verschieben, als die Pflanzenarten sich anpassen können (Bush *et al.* 2004). Viele Tierarten werden durch die Zerstörung von Lebensräumen auf engem Raum zusammengedrängt. Nur ein Zehntel des Lebensraums des Silberäffchens (*Mico argentatus*) wird im Jahr 2050 noch bewaldet sein, und ein Viertel aller Säugertierarten wird mindestens 40 Prozent seiner Lebensräume durch Rodung verlieren (Soares *et al.* 2007).

Und dieses Szenario ist vielleicht noch ein vorsichtiges. Wenn die Entwaldung zunehmen sollte, weil die Preise für Biotreibstoff und Agrarrohstoffe steigen, oder wenn Niederschläge durch Entwaldung oder Rauch erheblich gehemmt werden, könnte sich die Geschwindigkeit des Waldsterbens leicht verdoppeln. Eine Zunahme von Trockenheit oder Entwaldung könnte die Zerstörung und die Degradation der Wälder derart beschleunigen, dass in den nächsten 15 Jahren die 50-Prozent-Marke erreicht wird.

Entscheidende Maßnahmen zur Abwendung kritischer Tipping Points

Verschiedene wichtige Prozesse und Beziehungen haben das Potenzial, den Kräften, die Amazonien in ein Waldsterben führen, entgegenzuwirken, und liefern Bausteine für eine entschlossene Schutzstrategie.

• *Ohne Feuer erholen sich die meisten Wälder schnell*

Die meisten geschädigten Flächen im Amazonasbecken werden wieder ein geschlossenes Kronendach entwickeln, wenn sie vor Feuer geschützt werden, und innerhalb von 15 Jahren funktioniert die Transpiration wieder wie in Primärwäldern (Uhl *et al.* 1988, Nepstad *et al.* 1991, Jipp *et al.* 1998). Wie schnell ein Wald nachwächst, hängt v. a. davon ab, wie stark er zuvor genutzt wurde (Uhl *et al.* 1988, Zarin *et al.* 2001, Davidson *et al.* 2007). Auf aufgegebenen Rinderweiden wo nie gepflügt wurde, breiten sich Bäume und

Lianen im Allgemeinen schnell aus; in 5–10 Jahren entwickelt sich ein Sekundärwald mit einem geschlossenen Blätterdach. Mit jedem Jahr, in dem sich der Wald ohne Brand erholen kann, wird das Blätterdach höher, die Brennbarkeit des Waldes nimmt ab (Ray *et al.* 2005; Holdsworth und Uhl 1997), und die Menge des Wasserdampfs, der in die Atmosphäre gelangt und dort Regenwolken bildet, nimmt zu (Jipp *et al.* 1998).

• *Wenn immer mehr Landbesitzer sich gegen den Einsatz von Feuer entscheiden, folgen andere vielleicht ihrem Beispiel.*

Landbesitzer vermeiden den Einsatz von Feuer als Management-Instrument und investieren mehr, um Brandunfälle zu vermeiden, wenn sie in ihren Betrieben verstärkt auf feuersensible Anbaumethoden wie Obstplantagen, Nutzbäume, Waldbewirtschaftungssysteme und verbesserte Weidewirtschaft setzen (Nepstad *et al.* 2001, Bowman *et al.* eingereicht). Wenn die Zahl der Landbesitzer die kein Feuer einsetzen, in einer Region steigt, wird vielleicht ein Tipping Point erreicht, nach dem diese Landbesitzer sich gegen ihre Nachbarn durchsetzen, die noch Feuer legen und diese davon überzeugen, das Brandrisiko zu senken. Eine solche Veränderung im Verhalten der Landbesitzer – wenn es denn dazu kommt – könnte eine wichtige Rolle dabei spielen, Verbuschung zu vermeiden.

• *Die steigende Nachfrage nach einem umweltfreundlicheren Verhalten seitens der Investoren und Käufer von Agrarrohstoffen könnte die Agrarindustrie und die Viehwirte in Amazonien dazu bringen, gesetzliche Auflagen genauer zu erfüllen und sich die Best-Practice-Standards in der Landwirtschaft zu eigen zu machen.*

Eine weitere Verhaltensänderung von Landbesitzern könnte es geben, wenn ein vernünftiges Landmanagement (einschließlich des umsichtigen Einsatzes von Feuer) und die Erfüllung ökologischer Auflagen von einer wachsenden Zahl Produzenten als notwendige Voraussetzungen für die Teilnahme an den Agrarmärkten und für den Zugang zu Krediten und Finanzierungen angesehen werden. Die Sojabauern im Bundesstaat Mato Grosso durchlaufen gerade eine solche Veränderung – und befinden sich im zweiten Jahr eines Moratoriums des Brasilianischen Verbands der Pflanzenölindustrie (ABIOVE). Dieses Zwei-Jahres-Moratorium wurde infolge einer Kampagne der Umweltorganisation Greenpeace gegen den Kauf von Soja aus Amazonien verhängt, das auf frisch gerodeten Böden im Amazonaswald angebaut wurde (Greenpeace 2006). Sojaproduzenten und ihre Verbände sind derzeit bei der Entwicklung von Kriterien, nach denen ihre Betriebe als umweltverträglich zertifiziert werden können. In die-

sem Zusammenhang engagiert sich beispielsweise der Round Table for Responsible Soy (RTRS), der im Jahr 2004 vom World Wide Fund for Nature (WWF) ins Leben gerufen wurde, zur Zeit in einem internationalen Abstimmungsprozess, an dem verschiedene Interessengruppen beteiligt sind. Kriterien für die Identifizierung und Zertifizierung verantwortungsvoller Sojaproduzenten definiert. Zu den Mitgliedern des RTRS gehören die Käufer von 20 Prozent der weltweiten jährlichen Sojaernte, die sich alle verpflichtet haben, RTRS-zertifiziertes Soja zu kaufen. In kleinerem Rahmen verzeichnet das von zwei Nichtregierungsorganisationen (Aliança da Terra – AT und Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazonia – IPAM) ins Leben gerufene Register sozioökologischer Engagements (Cadastro de Compromisso Socioambiental – CCS) 75 Land- und Viehwirte, die zusammen 1,5 Millionen Hektar Land besitzen (Arini 2007). Ein Eintrag in das Register verpflichtet die Landbesitzer zu einem einwandfreien Landmanagement und vernünftigen Arbeitsverhältnissen in ihren Betrieben; was potenziellen Käufern über eine Website transparent dargestellt wird. In den Jahren 2006 und 2007 haben sich zwei Supermarktketten und Brasiliens größter Geflügelproduzent bei AT und IPAM gemeldet, die Soja und Rindfleisch von CCS-Betrieben kaufen wollen. Es sind solche Zertifizierungssysteme, die Landbesitzer dazu bewegen, die Auflagen der Bundesgesetze an private Schutzgebiete zu erfüllen, ihre Uferzonen zu erhalten und sich Methoden zur Verhinderung von Waldbränden anzueignen, wie z. B. Feuerschneisen entlang ihrer Waldgrundstücke anzulegen.

• Das gesunden der Wälder und das Anpflanzen von Nutzbäumen auf degradierten Flächen können die Transpiration wiederherstellen und das regionale Klima vor extremen Wetterereignissen schützen.

Wasserdampf, der von den Wäldern im Osten Amazoniens erzeugt wird, ist sehr wichtig für das Niederschlagssystem windwärts, im zentralen und im westlichen Amazonien (Marengo *et al.* in der Presse, da Silva *et al.* in der Presse). Eine Möglichkeit, Amazonien vor extremen Wetterereignissen zu schützen ist, die Atmungs- und Verdunstungsfunktion des Waldes auf den riesigen Flächen, die entlang der Straße zwischen Belém (im Osten des Bundesstaats Pará) und Brasília (im Bundesstaat Maranhão) und entlang der PA 150 in Zentral-Pará gerodet wurden, wiederherzustellen. Die Wiederherstellung der Transpiration in großen Teilen der Landschaft durch nachwachsenden Wald und Anpflanzungen könnte zusammen mit einer Abnahme der Feuer die Niederschlagshemmung reduzieren, die auf die Umwandlung von Urwäldern in Rinderweiden

und Sojafelder zurückzuführen ist. Mit der Erholung des Waldes steigt die Niederschlagsmenge, sodass ein positiver Kreislauf in mit beschleunigtem Waldwachstum in Gang gesetzt werden könnte.

• Nachhaltige Holzwirtschaft

Eine nachhaltige Holzproduktion in den Amazonaswäldern kann rentabel sein und gleichzeitig die negativen Auswirkungen des Holzeinschlags erheblich reduzieren (Holmes *et al.* 2002, Barreto *et al.* 1998). Umweltschonende Methoden der Holzernte, darunter das Kappen von Lianen vor dem Fällen, die sorgfältige Planung von Rückewegen, das Beachten der Fällrichtung und andere Praktiken kommen auch den Holzunternehmen zugute (Holmes *et al.* 2002, Barreto *et al.* 1998), da dadurch viel weniger Schäden am Blätterdach entstehen, die die Brandanfälligkeit des Waldes steigern (Holdsworth und Uhl 1997). Die Erhaltung des Amazonas-Regenwaldes hängt davon ab, in welchem Maße der Wert des Holzes in der Region wirtschaftlich dazu genutzt werden kann, den Übergang zu einer waldorientierten und feuerfeindlichen Wirtschaft zu fördern (Nepstad *et al.* 2006d).

• Regionale Planung, um die negativen Einflüsse von Verkehrsinfrastrukturprojekten zu reduzieren.

Von Januar 2004 bis heute wurden 23 Millionen Hektar Land im brasilianischen Teil Amazoniens zu Schutzgebieten erklärt (Campos und Nepstad 2006). Diese historische Errungenschaft in der Erhaltung tropischer Wälder wird die Emission von 1 Milliarde Tonnen Kohlenstoff in die Atmosphäre bis zum Jahr 2015 verhindern, denn für Viehweiden und die Interessen der Sojaindustrie stehen so weniger Waldflächen zur Verfügung (Nepstad *et al.* 2006c, Soares *et al.* 2006). Das war teilweise dank des Amazon Region Protected Area Programmes (ARPA) möglich, das gemeinsam mit der Weltbank, der der Entwicklungsbank (GEF), der deutschen Regierung und dem WWF das Ziel vorgegeben hat, die geschützte Fläche auf 12 Prozent des brasilianischen Amazoniens zu erhöhen. Aber es wurde auch durch die erheblichen Fortschritte in der regionalen Planung ermöglicht, an der Hunderte von Verbänden von Landwirten, Holzunternehmen, Umweltgruppen und die Regierung teilnahmen. Diese regionale Planung wurde im Vorfeld der Asphaltierung der Straße BR 163 von Santarém nach Cuiabá gestartet sowie im Rahmen des sozialen Regionalentwicklungsprogramms entlang der Transamazonas-Schnellstraße. Sie erreichte eine breite Basis politischer Unterstützung für die Schaffung neuer Schutzgebiete in einer Region, in der die Grenze der landwirtschaftlichen Erschließung täglich voranschreitet (Campos und Nepstad 2006).

• **REDD: ein starker neuer Mechanismus, um tropische Länder für den Schutz ihrer Wälder zu kompensieren?**

Ist die Welt bereit, Länder in den Tropen dafür zu bezahlen, dass sie ihre Emissionen von Treibhausgasen durch Entwaldung und Walddegradation senken? Es deutet einiges darauf hin, dass in den nächsten Jahren eine neue internationale Klimapolitik auf die Beine gestellt wird. Innerhalb der UNFCCC, der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, wird über die Schaffung von Kompensationen für Tropenländer verhandelt, denen es gelingt, ihre Emissionen aus Entwaldung und Walddegradation (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation - REDD) zu senken, und diese Verhandlungen kommen schnell voran. In Brasilien bekam ein Bündnis, das die Abholzung nach und nach komplett stoppen will, große Unterstützung vom Kongress, den Regierungen der Bundesstaaten und von Umweltschützern. Die Aliança de Povos da Floresta (Bündnis der Waldbevölkerung) unterstützt das REDD-System mit einer Reihe von Auflagen, darunter die Entlohnung der Waldbewohner für ihre Rolle als Wächter des Waldes – wie Satellitenbilder belegen, werden Wälder in Indianerreservaten genauso geschützt wie Wälder mit einem offiziellen Status als Schutzgebiete (Nepstad *et al.* 2006a). Ein stabiler Mechanismus, der wirtschaftliche Anreize für die Erhaltung des tropischen Regenwaldes schafft, könnte einen großen Beitrag dazu leisten, dass Amazonien den klimatischen und ökologischen Tipping Point nie erreicht.

Schlussbemerkung

Sich gegenseitig verstärkende Prozesse in der Wirtschaft, der Vegetation und dem Klima in Amazonien könnten dazu führen, dass mehr als die Hälfte der Wälder mit geschlossenem Blätterdach im Amazonasbecken in den nächsten 15–25 Jahren umgewandelt oder beschädigt wird; das würde die derzeitigen Erfolge beim Reduzieren globaler Treibhausgasemissionen zunichte machen. Diesen Prozessen entgegen stehen allmähliche Verhaltensänderungen bei Grundbesitzern, kürzlich erzielte Erfolge beim Einrichten großer Schutzgebiete im Bereich der vorrückenden Agrarfront, wichtige Marktentwicklungen zugunsten eines verantwortlichen Forstmanagements und ein möglicher neuer internationaler Mechanismus, um tropische Länder für den Schutz ihrer Wälder zu kompensieren. Alle diese Entwicklungen können die Wahrscheinlichkeit für ein großflächiges Absterben des Amazonaswaldes verringern. Langfristig jedoch kann das vielleicht nur verhindert werden, wenn die weltweiten Treibhausgas-Emissionen so stark reduziert werden, dass die globalen Temperaturen um nicht mehr als ein oder zwei Grad steigen.

Literaturverzeichnis

- Alencar, A., D. C. Nepstad, and M. d. C. Vera Diaz (2006)**, Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO Years: Area burned and committed carbon emissions, *Earth Interactions*, 10(Art. No. 6).
- Andreae, M. O., D. Rosenfeld, P. Artaxo, A. A. Costa, G. P. Frank, K. M. Longo, and M. A. F. Silva-Dias (2004)**, Smoking rain clouds over the Amazon, *Science*, 303, 1337-1342.
- Aragão, L. E., Y. Malhi, R. M. Roman-Cuesta, S. Saatchi, L. O. Anderson, and Y. E. Shimabukuro (2007)**, Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts, *Geophysical Research Letters*, 34(7).
- Arima, E., P. Barreto, and M. Brito (2005)**, Pecuaría na Amazônia: Tendências e implicações para a conservação ambiental, Instituto do Homen e Meio-Ambiente da Amazônia, Belém, Pará (Brazil).
- Arini, J. (2007)**, O novo capitalismo ambiental pode salvar a Amazonia?, *Revista Epoca*, 23 de Julho, 74-79.
- Asner, P. A., D. E. Knapp, E. N. Broadbent, P. J. C. Oliveira, M. Keller, and J. N. Silva (2005)**, Selective logging in the Brazilian Amazon, *Science*, 310, 480-482.
- Avisar, R., and D. Werth (2005)**, Global hydroclimatological teleconnections resulting from tropical deforestation, *Journal of Hydrometeorology*, 6, 134-145.
- Barlow, J., and C. A. Peres (2004)**, Ecological responses to El Niño-induced surface fires in central Brazilian Amazonia: Management implications for flammable tropical forests, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 359(1443), 367-380.
- Barreto, P., P. Amaral, E. Vidal, and C. Uhl. 1998**. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 108:9-26.
- Botta, A., and J. A. Foley (2002)**, Effects of climate variability and disturbances on the Amazonian terrestrial ecosystems dynamics, *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4).
- Bowman, M., G. Amacher, and F. Merry (in press)**, Fire use and management by traditional households of the Brazilian Amazon, *Ecological Economics*.
- Brando, P., D. Nepstad, E. Davidson, S. Trumbore, D. Ray, P. Camargo. In press**. Drought effects on litterfall, wood production, and below-ground carbon cycling in an Amazon forests: results of a throughfall reduction experiment. *Phil. Trans. Roy. Soc. B*
- Brown, I. F., W. Schroeder, A. Setzer, M. d. L. R. Maldonado, N. Pantoja, A. Duarte, and J. A. Marengo (2006)**, Monitoring fires in Southwestern Amazonia rain forests, *Eos*, 87(26), 253-264.
- Bruno, R. D., H. R. da Rocha, H. C. de Freitas, M. L. Goulden, and S. D. Miller (2006)**, Soil moisture dynamics in an eastern Amazonian tropical forest, *Hydrological Processes*, 20(12), 2477-2489.
- Bush, M. B., M. R. Silman, and D. H. Urrego (2004)**, 48,000 years of climate and forest change in a biodiversity hot spot, *Science*, 303(5659), 827-829.
- Canadell, J. G., C. Le Querec, M. R. Raupacha, C. B. Fielde, E. T. Buitenhuis, P. Ciaviso, T. J. Conway, N. P. Gillett, R. A. Houghton, and G. C. Marland (2007)**, Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks, *Proc. Nat. Acad. Sci.* [cgl/doi/10.1073/pnas.0702737104](https://doi.org/10.1073/pnas.0702737104)
- Cardinot, G. (2007)**, Tolerância a seca de uma floresta amazônica: resultados de um experimento de exclusão de chuva em larga escala, 197 pp, Universidade Federal Rio de Janeiro Rio de Janeiro, Doctoral thesis.
- Cattaneo, A. (in press)**, Regional Comparative Advantage, Location of Agriculture, and Deforestation in Brazil, *Journal of Sustainable Forestry*.
- Cochrane, M. A., A. Alencar, M. D. Schulze, C. M. Souza Jr, D. C. Nepstad, P. A. Lefebvre, and E. A. Davidson (1999)**, Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests, *Science*, 284, 1832-1835.
- Cochrane, M. A., and M. D. Schulze (1999)**, Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: Effects on forest structure, biomass, and species composition, *Biotropica*, 31(1), 2-16.
- Costa, M. H., S. N. M. Yanagi, P. Souza, A. Ribeiro, and E. J. P. Rocha (2007)**, Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion, *Geophysical Research Letters*, 34(7).
- Cox, P. M., R. A. Betts, C. D. Jones, S. A. Spall, and I. J. Totterdell (2000)**, Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model (vol 408, pg 184, 2000), *Nature*, 408(6813), 750-750.
- Cox, P. M., R. A. Betts, M. Collins, P. P. Harris, C. Huntingford, and C. D. Jones (2004)**, Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century, *Theoretical and Applied Climatology*, 78(1-3), 137-156.
- Da Silva, R. R., and R. Avisar (2006)**, The Hydrometeorology of a Deforested Region of the Amazon Basin, *Journal of Hydrometeorology*, 7(5), 1028-1042.
- Davidson, E. A., C. J. R. de Carvalho, A. M. Figueira, F. Y. Ishida, J. Ometto, G. B. Nardoto, R. T. Saba, S. N. Hayashi, E. C. Leal, I. C. G. Vieira, and L. A. Martinelli (2007)**, Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment, *Nature*, 447(7147), 995-U996.
- Fearnside, P. M. (1997)**, Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions, *Climatic Change*, 35, 321-360.
- Friedlingstein, P., J. L. Dufresne, P. M. Cox, and P. Rayner (2003)**, How positive is the feedback between climate change and the carbon cycle? , *Tellus*, B 55 (2), 692-700.
- Greenpeace International (2006 (April))**, Eating Up the Amazon., in <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/eating-up-the-amazon.pdf>, edited.
- Grodzins, M. (1958)**, The metropolitan area as a racial problem, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh.
- Gullison, R. E., P. C. Frumhoff, J. G. Canadell, C. B. Field, D. C. Nepstad, K. Hayhoe, R. Avisar, L. M. Curran, P. Friedlingstein, C. D. Jones, and C. Nobre (2007)**, Tropical forests and climate policy, *Science*, 316(5827), 985-986.
- Gunderson, L. H., and C. S. Holling (2002)**, Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems, Island Press, Washington, D.C.
- Gunderson, L. H., C. S. Holling, L. Pritchard, and G. D. Peterson (2002)**, Resilience of large-scale resource systems, in *Resilience and the Behavior of Large-Scale Systems*, edited by L. H. Gunderson and L. Pritchard, pp. 3-20, Island Press, Washington, D.C.
- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D. W. Lea, and M. Medina-Elizade (2006)**, Global temperature change, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 14288-14293.
- Holdsworth, A. R., and C. Uhl (1997)**, Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction, *Ecological Applications*, 7(2), 713-725.

- Holmes, T. P., G. M. Blate, J. C. Zweede, R. Pereira Jr., P. Barreto, F. Boltz, R. Bauch.** 2002. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. *Forest Ecology & Management* 163: 93-110.
- Holling, C. S.** (1973), Resilience and stability of ecological systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
- Houghton, R. A., D. L. Skole, C. A. Nobre, J. L. Hackler, K. T. Lawrence, and W. H. Chomentowski** (2000), Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon, *Nature*, 403, 301-304.
- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE** (2007), Estimativas Anuais de Desmatamento. PROJETO PRODES MONITORAMENTO DA FLORESTA AMAZÔNICA BRASILEIRA POR SATÉLITE. , Available at <http://www.obt.inpe.br/prodes/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change** (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jipp, P., D. C. Nepstad, K. Cassel, and C. J. R. d. Carvalho** (1998), Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally-dry Amazonia, *Climatic Change*, 39(2-3), 395-412.
- Kaimowitz, D., B. Mertens, S. Wunder, and P. Pacheco** (2004), Hamburger connection fuels Amazon destruction, Center for International Forest Research, Bangor, Indonesia.
- Kauffman, J. B., C. Uhl, and D. L. Cummings** (1988), Fire in the Venezuelan Amazon 1: Fuel biomass and fire chemistry in the evergreen rainforest of Venezuela, *Oikos*, 53, 167-175.
- Lawton, R. O., U. S. Nair, R. A. Pielke Sr., and R. M. Welch** (2001), Climatic Impact of Tropical Lowland Deforestation on Nearby Montane Cloud Forests *Science*, 294. no. 5542, pp. 584 - 587.
- Lean, J., and D. A. Warrilow** (1989), Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation, *Nature*, 342, 411-413.
- Macdonald, G. E.** (2004), Cogongrass (*Imperata Cylindrica*) - biology, ecology, and management, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(5), 367-380.
- Malhi, Y., J. Timmons Roberts, R. A. Betts, T. J. Killeen, W. Li, and C. A. Nobre** (In press), *Climate Change, Deforestation and the Fate of the Amazon*, Science.
- Marengo, J. A., C. A. Nobre, J. Tomasella, M. D. Oyama, G. S. d. Oliveira, R. d. Oliveira, H. Camargo, L. M. Alves, and I. F. Brown** (in press), The drought of Amazonia in 2005, *Journal of Climate*.
- Meggors, B. J.** (1994), Archeological evidence for the impact of Mega-Niño events of Amazonia during the past two millennia, *Climatic Change*, 28, 321-338.
- Mendonça, M. J. C., M. d. C. V. Diaz, D. C. Nepstad, R. S. d. Motta, A. A. Alencar, J. C. Gomes, and R. A. Ortiz** (2004), The economic costs of the use of fire in the Amazon, *Ecological Economics*, 49(1), 89-105.
- Merry, F. D., B. S. Soares Filho, D. C. Nepstad, G. Amacher, and H. Rodrigues** (submitted), A sustainable future for the Amazon timber industry, *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Myneni, R. B., W. Z. Yang, R. R. Nemani, A. R. Huete, R. E. Dickinson, Y. Knyazikhin, K. Didan, R. Fu, R. I. N. Juarez, S. S. Saatchi, H. Hashimoto, K. Ichii, N. V. Shabanov, B. Tan, P. Ratana, J. L. Privette, J. T. Morisette, E. F. Vermote, D. P. Roy, R. E. Wolfe, M. A. Friedl, S. W. Running, P. Votava, N. El-Saleous, S. Devadiga, Y. Su, and V. V. Salomonson** (2007), Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 4820-4823.
- Nakagawa, M., K. Tanaka, N. Tohru, T. Ohkubo, T. Kato, T. Maeda, K. Sato, H. Miguchi, H. Nagamasu, K. Ogino, S. Teo, A. A. Hamid, and L. H. Seng** (2000), Impact of severe drought associated with the 1997-1998 El Niño in a tropical forest in Sarawak, *Journal of Tropical Ecology*, 16, 355-367.
- Nepstad, D. C., C. J. R. d. Carvalho, E. A. Davidson, P. Jipp, P. A. Lefebvre, G. H. d. Negreiros, E. D. da Silva, T. A. Stone, S. E. Trumbore, and S. Vieira** (1994), The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures, *Nature*, 372, 666-669.
- Nepstad, D. C., P. Jipp, P. R. d. S. Moutinho, G. H. d. Negreiros, and S. Vieira** (1995), Forest recovery following pasture abandonment in Amazonia: Canopy seasonality, fire resistance and ants, in *Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems*, edited by D. Rapport, pp. 333-349, Springer-Verlag, New York.
- Nepstad, D. C., C. Uhl, C. A. Pereira, and J. M. C. da Silva** (1996), A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia, *Oikos*, 76, 25-39.
- Nepstad, D. C., A. Veríssimo, A. Alencar, C. A. Nobre, E. Lima, P. A. Lefebvre, P. Schlesinger, C. Potter, P. R. d. S. Moutinho, E. Mendoza, M. A. Cochrane, and V. Brooks** (1999a), Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire, *Nature*, 398, 505-508.
- Nepstad, D. C., A. G. Moreira, and A. Alencar** (1999b), Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fire: Chapter 5, in *Origins, Impacts and Alternatives to Amazonian Fire*, edited by W. Bank and Ppg-7, University of Brasília Press, Brasília, Brazil.
- Nepstad, D. C., J. P. Capobianco, A. C. Barros, G. O. Carvalho, P. R. d. S. Moutinho, U. Lopes, and P. A. Lefebvre** (2000), *Avança Brasil: Os Custos Ambientais para a Amazônia*, edited, Gráfica e Editora Alves, Belém, Brazil.
- Nepstad, D. C., G. O. Carvalho, A. C. Barros, A. Alencar, J. P. Capobianco, J. Bishop, P. Moutinho, P. A. Lefebvre, U. L. Silva, and E. Prins** (2001), Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests, *Forest Ecology and Management*, 154, 395-407.
- Nepstad, D. C., P. R. d. S. Moutinho, M. B. Dias-Filho, E. A. Davidson, G. Cardinot, D. Markewitz, R. Figueiredo, N. Viana, P. A. Lefebvre, D. G. Ray, J. Q. Chambers, L. Barros, F. Y. Ishida, E. Belk, and K. Schwalbe** (2002), The effects of rainfall exclusion on canopy processes and biogeochemistry of an Amazon forest, *Journal of Geophysical Research*, 107(D20), 53, 51-18.
- Nepstad, D., P. Moutinho, and B. Soares** (2006c), *The Amazon in a Changing Climate: Large-Scale Reductions of Carbon Emissions from Deforestation and Forest Impoverishment*, IPAM, WHRC, and UFMG, Belem, Para, Brazil.
- Nepstad, D. C., P. A. Lefebvre, U. L. Silva Jr, J. Tomasella, P. Schlesinger, L. Solorzano, P. R. d. S. Moutinho, and D. G. Ray** (2004), Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis, *Global Change Biology*, 10, 704-717.
- Nepstad, D. C., S. Schwartzman, B. Bamberger, M. Santilli, D. G. Ray, P. Schlesinger, P. A. Lefebvre, A. Alencar, E. Prins, G. Fiske, and A. Rolla** (2006b), Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands, *Conservation Biology*, 20(1), 65-73.
- Nepstad, D. C., C. M. Stickler, and O. T. Almeida** (2006a), Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation, *Conservation Biology*, 20(6), 1595-1603.
- Nepstad, D., I. Tohver, D. Ray, P. Moutinho, and G. Cardinot** (2007), Long-term experimental drought effects on stem mortality, forest structure, and dead biomass pools in an Eastern-Central Amazonian forest, *Ecology*, 88(9), 2259-2269.
- Nepstad, D. C., and C. M. Stickler** (in press), Managing the tropical agriculture revolution, *Journal of Sustainable Forestry*.

- Nobre, C. A., P. J. Sellers, and J. Shukla (1991)**, Amazonian deforestation and regional climate change, *Journal of Climate*, 4, 957-988.
- Oyama, M. D., and C. A. Nobre (2003)**, A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America, *Geophysical Research Letters*, 30(23), Art. No. 2199.
- Pan-American Health Organization (PAHO) (2004)**, The Houston Declaration, Hemispheric Conference on the Eradication of Foot-and-Mouth Disease, Houston, Texas.
- Pimentel, D., and T. W. Patzek (2005)**, Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower, *Natural Resources Research*, 14(1), 65-76.
- Ray, D., D. Nepstad, and P. Moutinho (2005)**, Micrometeorological and canopy controls of flammability in mature and disturbed forests in an east-central Amazon landscape, *Ecological Applications*, 15(5), 1664-1678.
- Saleska, S. R., K. Didan, A. R. Huete, and H. R. da Rocha (2007)**, Amazon Forests Green-Up During 2005 Drought. , *Science*, 318, 612.
- Salati, E., and R. Vose (1984)**, Amazon basin: A system in equilibrium, *Science*, 225, 129-138.
- Salazar, L. F., C. A. C. A. Nobre, and M. D. Oyama (2007)**, Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America, *Geophysical Research Letters*, 34.
- Sampaio, G., C. Nobre, M. C. Costa, P. Satyamurty, B. S. Soares-Filho, and M. Cardoso (2007)**, Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion., *Geophysical Research Letters*, 34, L17709, doi:17710.11029/12007GL030612.
- Sanford, R. L., J. Saldarriaga, K. Clark, C. Uhl, and R. Herrera (1985)**, Amazon rain-forest fires, *Science*, 227, 53-55.
- Schelling, T. (1971)**, Dynamic models of segregation., *Journal of Mathematical Sociology*, 1, 143-186.
- Shean, M. J. (2004)**, The Amazon: Brazil's Final Soybean Frontier, US Foreign Agricultural Service/Production Estimates and Crop Assessment Division, http://www.fas.usda.gov/pecad/highlights/2004/01/Amazon/Amazon_soybeans.html.
- Silva Dias, M. A. F., S. Rutledge, P. Kabat, P. L. Silva Dias, C. Nobre, G. Fisch, A. J. Dolman, E. Zipser, M. Garstang, A. O. Manzi, J. D. Fuentes, H. R. Rocha, J. Marengo, A. Plana-Fattori, L. D. A. Sá, R. C. S. Alvalá, M. O. Andreae, P. Artaxo, R. Gielow, and L. Gatti (2002)**, Cloud and rain processes in biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon region, *Journal of Geophysical Research*, 107(D20), 8072.
- Soares-Filho, B. S., D. C. Nepstad, L. M. Curran, G. C. Cerqueira, R. A. Garcia, C. A. Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre, and P. Schlesinger (2006)**, Modelling conservation in the Amazon basin, *Nature*, 440(7083), 520-523.
- Timmermann, A., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif, and E. Roeckner (1999)**, Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming, *Nature*, 395, 694-697.
- Trenberth, K. E., and T. J. Hoar (1997)**, El Niño and climate change, *Geophysical Research Letters*, 24(23), 3057-3060.
- Uhl, C., and I. C. G. Vieira (1989)**, Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon, *Biotropica*, 21(2), 98-106.
- Uhl, C., and J. B. Kauffman (1990)**, Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the eastern Amazon, *Ecology*, 71(2), 437-449.
- Van Nieuwstadt, M. G. L., and D. Sheil (2005)**, Drought, fire and tree survival in a Borneo rain forest, East Kalimantan, Indonesia, *Journal of Ecology*, 93(1), 191-201.
- Werth, D., and R. Avissar (2002)**, The local and global effects of Amazon deforestation, *Journal of Geophysical Research. Atmospheres.*, 107, doi: 10.1029/2001JD000717.
- Williamson, G. B., W. F. Laurance, A. A. Oliveira, P. Delamonica, C. Gascon, T. E. Lovejoy, and L. Pohl (2000)**, Amazonia tree mortality during the 1997 El Niño drought, *Conservation Biology*, 14(5), 1538-1542.
- Worldwatch Institute. 2006.** Biofuels for Transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Energy in the 21st Century. London: Earthscan.
- Xavier, M.R. 2007.** The Brazilian Sugarcane Ethanol Experience. Issue Analysis No. 3. Washington, D.C.: Competitive Enterprise Institute. Available at <http://www.cei.org/pdf/5774.pdf>
- Yacobucci, B. D., and R. Schnepf (2007)**, Ethanol and biofuels, U.S. Congressional Research Service, Washington, D.C.
- Zarin, D. J., M. J. Ducey, J. M. Tucker, and W. A. Salas (2001)**, Potential biomass accumulation in Amazonian regrowth forests, *Ecosystems*, 4, 658-668.

Herausgeber: WWF International, Gland/Schweiz
Autor: Daniel C. Nepstad
Koordination: Alois Vedder, WWF Deutschland
Kontakt: Rebeca Kritsch, WWF Amazon Network Initiative,
c/o WWF Brasilien
Layout: Wolfram Egert, Atelier für Graphic Design
Produktion: Rainer Litty, WWF Deutschland

Gedruckt auf Umweltpapier

© 2007 WWF International

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.



Der WWF Deutschland ist Teil des World Wide Fund For Nature (WWF) – einer der größten unabhängigen Naturschutzorganisationen der Welt. Das globale Netzwerk des WWF ist in über 100 Ländern aktiv. Weltweit unterstützen uns fast fünf Millionen Förderer.

Der WWF will der weltweiten Naturzerstörung Einhalt gebieten und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Harmonie leben.

Deshalb müssen wir gemeinsam

- die biologische Vielfalt der Erde bewahren,
- erneuerbare Ressourcen naturverträglich nutzen und
- die Umweltverschmutzung verringern und verschwenderischen Konsum eindämmen.

WWF Bolivien

P.O. Box 1633
Santa Cruz
Bolivia
Tel. +591 3 31150 41
Fax +591 3 31150 42
<http://bolivia.panda.org/>

WWF Brasilien

SHIS EQ QL 6/8
Conjunto E - 2° andar
71620-430 Brasilia
Brazil
Tel. +55 61 3364 7400
Fax +55 61 3364 7474
www.wwf.org.br

WWF Kolumbien

Carrera 35 No.4A-25, Cali
Colombia
Tel. +57 2 558 2577
Fax +57 2 558 2588
www.wwf.org.co

WWF Guianas

Henck Arronstr 63, Suite D, E
Paramaribo, Suriname
Tel. +59 7 422 357
Fax +59 7 422 349
www.wwf.sr

WWF Peru

Trinidad Morán 853
Lince
Lima- 14, Peru
Tel. +51 1 440 5550
Fax +51 1 440 2133
www.wwfperu.org.pe

WWF- Büro

Lateinamerika & Karibik
1250 24th Street, N.W.
Washington, D.C. 20037-1193
Tel. 202 778 9673
Fax 202 296 5348
www.panda.org

WWF Deutschland

Rebstöcker Straße 55
D-60326 Frankfurt am Main
Deutschland
Tel: +49 69 7 91 44 - 0
Fax: +49 69 61 72 21
www.wwf.de

WWF International

Avenue du Mont-Blanc
CH-1196 Gland
Schweiz
Tel: +41 22 364 9111
Fax: +41 22 364 8836
www.panda.org