

Das zukünftige Klima Amazoniens

Wissenschaftlicher Bericht

Professor Antonio Donato Nobre

Deutsche Fassung:
Dr. Hermann Johann Heinrich Kux

ARA
Articulación Regional
Amazônica

Das zukünftige Klima Amazoniens

Wissenschaftlicher Bericht

1ª Edition

Antonio Donato Nobre

São José dos Campos – SP Brasilien
Ausgabe ARA, CCST-INPE e INPA 2017

Das zukünftige Klima Amazoniens

Wissenschaftlicher Bericht

Autor:

Antonio Donato Nobre, PhD*
Wissenschaftler bei CCST** MCTi/INPE,
Wissenschaftler bei MCTi/INPA

Deutsche Fassung:

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux, Wissenschaftler bei OBT MCTi/INPE

Realisierung:

Articulación Regional Amazónica (ARA)

Institutionelles Sponsoring:

Zentrum für Geowissenschaften (CCST), Nationales Institut für Weltraumforschung (INPE)
Nationales Institut für Forschung des Amazonas (INPA)

Strategische Partnerschaft:

Avina e Avina Americas
Vale Fonds
Skoll Stiftung

Unterstützt von:

Sozio Environmental Institute (ISA)
Fliegende Flüsse-Projekt (Rios Voadores)
World Wildlife Fund (WWF)

N669f	Nobre, Antonio Donato. Das zukünftige Klima Amazoniens. Wissenschaftlicher Evaluierungsbericht / Antonio Donato Nobre. – São José dos Campos, SP, Brasilien: ARA: CCST-INPE: INPA 2017 e-book: il. ISBN 978-85-17-00087-4 1. Klimatologie. 2. Amazon (Region). 3. Umwelt. I. Titel	CDU: 551.58
-------	--	-------------

Quellen:

Nobre AD, 2017, Das Zukünftige Klima Amazoniens. Wissenschaftlicher Evaluierungsbericht. Realisierung ARA, CCST-INPE, e INPA. São José dos Campos, Brasilien, 42p.

Online verfügbar unter: [http:// www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/Das_Zukunftige_Klima_Amazoniens.pdf](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/Das_Zukunftige_Klima_Amazoniens.pdf)



Diese Arbeit ist lizenziert unter Creative Commons Attribution 4.0 Internationale Lizenz. Eine Kopie dieser Lizenz ist unter folgender Seite: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> verfügbar.

São José dos Campos, São Paulo, Brasilien, im Februar 2017.

* Antonio Donato Nobre ([curriculum Lattes](#)) erforscht das Erdsystem durch einen interdisziplinären Ansatz und arbeitet für die Popularisierung der Wissenschaft. Er ist seit 1985 Senior Wissenschaftler am Nationalen Instituts für Forschung des Amazonas (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA) und arbeitet seit 2003 am Nationalen Instituts für Weltraumforschung (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE).
** Das Zentrum für Geowissenschaften ([Centro de Ciência do Sistema Terrestre](#)) ist eine neue Abteilung der Nationalen Instituts für Weltraumforschung (INPE) für interdisziplinäre Forschung von der Erde als ein System.

Zusammenfassung

Dieser Bericht über das zukünftige Klima des Amazonas umfasst zu den wichtigsten Problemen eine kurze Überprüfung sowie eine Synthese der wissenschaftlichen Literatur mit einer analytischen Interpretation.

Mit Fokus auf Wissenschaft wurde der Bericht verständlich formuliert und holistisch behandelt. Es wurde versucht, viele Quellen und Analysen von Wissenschaftlern zu einem kohärenten Bild des amazonischen Ökosystems zusammenzufügen.

Ziel des Berichtes ist es, das klimatische Potenzial des weltweit größten, noch erhaltenen Regenwaldes, seine für die Menschheit so wichtigen Funktionen und seine Zerstörung durch Abholzung und Brandrodung zu erläutern. Des Weiteren werden die notwendigen Schritte aufgezeigt, um die außer Kontrolle geratene Entwicklung des Klimas als Ergebnis menschlicher Besiedlung des Waldes wieder in den Griff zu bekommen.

Da dieses Thema sehr vielschichtig ist, ist es notwendig, es in einer zeitlichen Abfolge zu behandeln.

- 1 Der Text beginnt mit einer Übersicht des Schlüsselfaktors der geologischen Geschichte: *des Netzwerks der amazonischen Biodiversität, die ihre heutige Leistungsfähigkeit über viele Millionen Jahre hinweg gebildet hat*. Lebensprozesse im Regenwald haben mit unzähligen zusammenarbeitenden Organismen eine unvorstellbare Komplexität entwickelt. Sie gleichen einer riesigen, die Umwelt regulierenden Maschine.

- 2 Anschliessend werden die Fähigkeiten eines ungestörten Regenwalds beschrieben: Der Amazonaswald – der “Grüne Ozean”¹, und seine Beziehung zur Atmosphäre – dem gasförmigen Ozean, mit dem er Gase, Wasser und Energie austauscht sowie dem Atlantik – dem blauen Ozean, der ersten und letzten Wasserquelle, die den Kontinent beregnet. Seit den Untersuchungen von Humboldt² hat die moderne Wissenschaft zusammen mit traditionellen indigenen Kenntnissen wichtige Geheimnisse des Regenwalds bezüglich seines mächtigen Einflusses auf das Klima der Erde gelüftet. Im Folgenden erkunden wir fünf wichtige Erkenntnisse zur Öko-Hydrologie Amazoniens.

Fünf aufgedeckte Geheimnisse des Amazonas

Das erste Geheimnis bezieht die Feuchtigkeit ein, die den Wald durch die Luftzirkulation aufrechterhält, was Regen in weit von den Ozeanen entfernten Gebieten im Landesinneren liefert. Ursache ist die Fähigkeit von Bäumen, durch Transpiration große Wassermengen vom Boden in die Atmosphäre zu transportieren.

Das zweite Geheimnis betrifft die ausgiebige Regenbildung in sauberer Luft. Die Bäume des Amazonas emittieren flüchtige Substanzen, die für Wasserdampf als Vorstufen der Kondensationskernen dienen, deren Effizienz bei der Wolken-Keimbildung reichliche und milde Regenfälle zur Folge haben.

Das dritte Geheimnis ist die Überlebensfähigkeit der Amazonas-Wälder im Fall von klimatischen Katastrophen sowie ihre beeindruckende Eigenschaft, selbst bei

¹ Der Begriff *Green-Ocean* beschreibt die Ozeane -ähnliche Merkmale dieser kontinentalen Weite die von dichten Wäldern bedeckt ist. Die Bedeutung dieses neuartigen Konzepts liegt in der Idee einer Waldoberfläche unterhalb der Atmosphäre, in der Weite, Nässe und Windgefahr sich ähneln, Eigenschaften ähnlich den tatsächlichen Ozeanen.

² Alexander von Humboldt, einflussreicher deutscher Wissenschaftler - Naturforscher, der den amerikanischen Kontinent an der Wende des 18.-19. Jahrhunderts erforscht, bekannt als Vater der Wissenschaften wie Geographie, Physik, Meteorologie und Ökologie.

ungünstigen äußeren Bedingungen, einen vorteilhaften Wasserkreislauf aufrecht zu erhalten. Nach der Theorie der biotischen Pumpe³ führt eine kräftige Transpiration der Bäume in Kombination mit sehr starker Kondensation, wie sie bei der Wolken- und Regentstehung vorliegt (und die stärker ist als über den angrenzenden Ozeanen), zu einer Verringerung des atmosphärischen Drucks über dem Wald. Dies wiederum saugt feuchte Luft von den Ozeanen ins Inland, was, in den meisten Fällen, die Niederschlagsmengen aufrecht erhält.

Das vierte Geheimnis erklärt, warum der südliche Teil Südamerikas, östlich der Anden, im Gegensatz zu Gebieten ähnlicher Breite, sowohl westlich der Anden als auch auf anderen Kontinenten, keine Wüste ist. Der Amazonas Regenwald hält die Luft nicht nur für sich selbst feucht, sondern exportiert Wasserdampf auch über sogenannte „Luftflüsse“. Sie transportieren das Wasser, aus dem sich der ausgiebige Niederschlag bildet, der weit entfernte Gebiete während der Sommermonate beregnet.

Aus dem fünften gelüfteten Geheimnis erklärt sich, weshalb das Amazonas-Gebiet und die naheliegenden Ozeane es nicht ermöglichen, dass bestimmte atmosphärische Phänomene wie Hurrikane und andere Extremwetterereignisse auftreten. Die gleichmäßige Kondensationsverteilung über dem unregelmäßigen Dach des Regenwaldes verhindert, dass sich Windkraft in Form schädigender Wirbel wie Hurrikane und Tornados über Land anhäuft. Die Ursache liegt darin, dass der laterale Transport von Feuchtigkeit über dem Ozean zur Abnahme der atmosphärischen Feuchtigkeit führt und so Stürmen, die über an große Wälder angrenzenden ozeanischen Regionen entstehen, ihre Nahrung (Luftfeuchtigkeit) entzieht.

Alle diese zusammenhängenden Effekte machen den majestätischen Amazonas-Regenwald zum besten und wertvollsten Partner für alle menschlichen Aktivitäten, die gemäßigte Regenmengen, ein mildes Klima, sowie den Schutz gegen extreme Ereignisse benötigen.

- ③ Der Bericht fährt fort mit der Beschreibung der Effekte von Abholzung und Brandrodung auf das Klima: die Verwüstung des Amazonas-Regenwalds verursacht ein dramatisch unwirtliches Klima. Vor über 20 Jahren bereits haben klimatische Modelle verschiedene schädliche Auswirkungen der Abholzung auf das Klima vorausgesagt, was durch Beobachtungen bestätigt wurde. Unter diesen Effekten sind drastische und weit verbreitete Verringerungen, wie z.B. Transpiration des Waldes, Änderungen der Wolken- und Regen-Dynamik, sowie die Verlängerung der Trockenzeit. Weitere Nebeneffekte, wie die Wirkung von Rauch und Ruß auf Regenprozesse, wurden nicht vorausgesagt, aber dennoch beobachtet, selbst über ungestörten Regenwaldgebieten.

Die Schäden die dem Amazonas Klima durch Abholzung, Feuer, Rauch und Ruß zugefügt wurden, sind bereits sehr deutlich sichtbar, sowohl in wissenschaftlichen Gelände-Messungen als auch in führenden Klima-Modellierungs-Szenarien. Analysen, die auf aktualisierten Klimamodellen und neuen physikalischen Theorien basieren, prognostizieren eine schlechtere Zukunft. Der wichtigste Faktor, der das Klima beeinflusst und der sich aus dieser Analyse ergibt, ist das kumulative Ausmaß der abgeholzten Fläche, die bis 2013 auf brasilianischem Amazonasgebiet 763.000 Quadratkilometer betrug (entspricht der Fläche von Deutschland und Japan zusammen). Zu dieser Fläche muss außerdem noch das wenig untersuchte und

selten erwähnte Gebiet gezählt werden, das wahrscheinlich das Klima beeinflusst und von einer Verschlechterung des Waldes betroffen ist. Es wird auf eine Größe von über 1,2 Millionen Quadratkilometern geschätzt.

- ④ Weiterhin beschreibt der Bericht die Zusammenhänge beider vorheriger Themenkomplexe, der grüne Ozean des Regenwalds und seine Abholzung, im Kontext längerer Zeiträume: das Gleichgewicht des Vegetations-Klimas, das am Rand des Abgrunds schwebt. Klima-Modelle, die interaktiv mit Vegetations-Modellen verknüpft sind, können benutzt werden, um zu ermitteln welche Bereiche verschiedener Vegetationstypen und welche Klimabedingungen in der Lage sind, ein stabiles Klima- und Vegetations- Gleichgewicht zu ermöglichen.

Für Amazonien projizieren die laufenden Modelle zwei mögliche Gleichgewichtszustände: der Erste begünstigt den Wald (feucht, entspricht dem heutigen und früheren Status des Amazonas-Beckens), der Zweite begünstigt die Savanne (trockener, dem jetzigen Zustand des brasilianischen Cerrado⁴ entsprechend), eine potenziell düstere Zukunft für das Amazonasbecken.

Diese Modellstudien geben Grund zur Sorge. Sie liefern den eindeutigen Hinweis, dass eine 40-prozentige Reduktion des Regenwaldes eine Umwandlung in großem Maßstab hin zu einem Savannen-Gleichgewicht auslösen kann, und dabei selbst Wälder eliminiert würden, die bisher noch nicht gefällt wurden. Die derzeitige Kahlschlag-Abholzung entspricht im brasilianischen Amazonien etwa 20 Prozent der ursprünglichen Waldfläche. Es wird geschätzt, dass die Waldschädigung den restlichen Wald in unterschiedlichen Ausmaßen beeinträchtigt und

³ Makarieva, A.M. & Gorshkov, V.G. 2007 Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. Hydrol. Earth Syst. Sci. 11, 1013-1033.

⁴ "Cerrado" ist ein weit verbreiteter Savannen-Typ in Brasilien. (Anm. des Autors).

somit etwa weitere 20 Prozent des ursprünglichen Waldes unmittelbar beeinflusst.

- ⑤ Der letzte Teil dieses Berichts empfiehlt einen Minderungsplan auf Grundlage einer radikalen Umkehr, sowohl in Bezug auf die vergangenen als auch auf die in Zukunft zu erwartenden Schäden. Er empfiehlt eine Art „Kriegseinsatz“. Die Regenwälder Amazoniens sind extrem wichtig, um das globale Klima und die Sicherheit zukünftiger Generationen zu erhalten. Glücklicherweise machen Fortschritte in den Wissenschaften aus diesem „Krieg“ eine Herausforderung, die erfolgreich erfüllt werden kann.

Trotz der Schwierigkeit, Hintergrund-Effekte des globalen Klimawandels von lokalen und regionalen Effekten genau zu trennen, haben die Abholzung, die Waldschädigung und die dazu gehörenden Auswirkungen zweifelsohne bereits das Klima in Amazonien wie auch das weiter entfernte Klima beeinflusst. Die Auswirkungen haben bereits heute einen hohen Tribut gefordert und werden in naher Zukunft noch gravierender werden, so dass die einzige verantwortliche Option nur sein kann, deren Ursachen sofort und intensiv zu bekämpfen.

Der erste Schritt ist es, wissenschaftliche Entdeckungen universell und erleichtert zugänglich zu machen, um damit mehr Druck auf die wichtigste Ursache der Abholzung ausgeübt werden kann: nämlich der Ignoranz.

Zweitens ist es notwendig, den Aderlass und die Zerstörung des Waldes zu stoppen. Um Abholzung, Verschlechterung sowie Brandrodung sofort aufzuhalten, muss man

alle zur Verfügung stehenden möglichen und ethischen Mittel nutzen. Gleichzeitig besteht aufgrund der Tatsache, dass die akkumulierte Abholzung und Waldbeschädigung der gravierendste Faktor für regionale Klimaschäden ist, die dringende Notwendigkeit, die Gebiete, deren Wald zerstört wurden, großskalig und effektiv wiederaufzuforsten.

Ein solcher Einsatz muss mittel- und langfristige Perspektiven aufweisen, die erst mit der Wiederherstellung des ursprünglichen Amazonas-Regenwaldes ihr Ziel erreicht haben. Aufgrund dessen können, sollen und müssen Verantwortliche die Führung übernehmen, um mit einer umfassenden Mobilisierung von Menschen, Ressourcen und Strategien die verlorene Zeit wieder wett zu machen.

Abschließend eröffnet dieser Bericht, mit dem Hinweis auf die dringende Eile von Maßnahmen zum Schutz der Wiederherstellung des großen Amazonas-Regenwaldes, reale Möglichkeiten, um neue Wege in eine Zukunft zu finden, in der ein erneuerter und geschützter Regenwald weiterhin fundamentale ökologische Unterstützung menschlicher Aktivitäten innerhalb Amazoniens und darüber hinaus liefert.

Danksagung

Vielen Dank an alle, die mit qualifizierter Information zu diesem Bericht beigetragen haben, insbesondere Enéas Salati für die Geschichte der Isotopen-Untersuchungen; Martin Hodnett, José Marengo und Celso Randow für die Daten über Evapotranspiration; Diógenes Alves und Dalton Valeriano für die Daten zur Abholzung; José Marengo für die fokussierten und sehr nützlichen Warnungen; Anita Drumond für die Berechnungen der Verdunstung über dem Ozean; Antonio Manzi über Fragen der globalen atmosphärischen Zirkulation; Claudio Maretti bei der Hilfe, um Themen der Walderhaltung in Perspektive zu setzen; Yosio Shimabukuro und Scott Saleska für die Informationen bezüglich der Fläche Amazoniens und der Baumdichte; Gilvan Sampaio für die Textkorrekturen über die Vegetation-Klima-Gleichgewichts-Modelle; Meinrat Andreae und Steven Wofsy für Literaturangaben und Beratung über atmosphärische Chemie; German Poveda für Literaturangaben und Beratung über die Anden-Gletscher; Suprabha Sechan für die Anweisungen zu den Schwierigkeiten der Technologie; der ausgezeichneten Kritik und Vorschläge durch die Kommentatoren und das Publikum des 3. Pan-Amazonic Treffens der ARA (Articulación Regional Amazónica) in Lima, Peru; den Fragen und Reaktionen der Öffentlichkeit bei der Debatte durch "Nossa São Paulo" und dem Instituto Ethos, über die Wasserkrise im Ballungsraum von São Paulo; Sérgio Guimarães, Márcio Santilli, Paulo Nobre, Tasso Azevedo, Adriana Cuartas, Lou Gold, Foster Brown, Claudio Maretti, Victor Gorshkov, Anastassia Makarieva, Stephan Schwartzman und Robert Harriss für die ausgezeichneten und inspirierenden Revisionen; Meinrat Andreae und das Max-Planck-Institut für Chemie für ertragreiche Diskussionen über viele Jahre und wertvolle Unterstützung; Marcelo Leite für die solide professionelle und qualitativ hochwertige Überprüfung, wesentlich für die Anpassung und Verbesserung des Textes; Marcos Losekann, Gerard und Margi Moss durch anregende Fragen, die den Text weiter verbessert haben; Marcelo Leite für die nüchterne und professionelle Bewertung und hohe Qualität, die unerlässlich bei der Anpassung und Verbesserung des Textes waren; Felipe Horst für die schöne Gestaltung des Berichts; der Articulación Regional Amazónica (ARA) für die Beauftragung der Studie und dem Exekutivsekretariat der ARA, insbesondere Sérgio Guimarães und Claudio Oliveira für die ständige Unterstützung und Ermutigung.

Für die extrem schwierige Übersetzung ins Deutsche möchte ich mich bei Dr. Hermann Johann Heinrich Kux bedanken. Ich bedanke mich auch bei Andreas Weiser für seinen erfahrenen Blick auf die Revision und seinen herzlichen Rat bei der Vorbereitung der deutschen Ausgabe; Mayra Nobre für die weitere Revision der idiomatischen Ausdrücke aus dem ursprünglichen Text ins Deutsche; Ulrich Pöschl für die essentielle wissenschaftliche Überprüfung des deutschen Textes und für ein anonymen Rezensent für die detaillierte Überprüfung der wissenschaftlichen Ausdrücke in die deutsche Sprache und die finale Überprüfung des Sprachgebrauchs."

Mein spezieller Dank an INPE/CCST und INPE für die institutionelle Förderung; Avina, Fundo Vale, Skoll Foundation, Fundação Bem-te-Vi und CGPDI für ihre wertvolle Partnerschaft; ISA Projekt Rios Voadores (Fliegende Flüsse) und dem WWF für ihre Unterstützung für die wertvolle Partnerschaft.

Inhalt

Einführung – Die Forsttechnik ist unersetzlich.....9

1) Die Wälder generieren ein angenehmes Klima: fünf gelüftete Geheimnisse.....11

1.1) Recycling von Feuchtigkeit: Geysire des Waldes.....11

1.2) Wolkenkondensationskeime: der Feenstaub über dem *grünen Ozean*.....14

1.3) Die biotische Feuchtigkeitspumpe: Wasser spenden, um Regen zu bekommen.....15

1.4) Die Luft-Flüsse: frisches Wasser durch luftgetragene Arterien.....17

1.5) Unregelmäßige Baumkronen: Windschutz.....19

2) Die Abholzung führt zu einem unwirtlichen Klima.....20

2.1) Die virtuelle Abholzung: Simulation der Vernichtung der Bäume.....20

2.2) Die reale Abholzung: Adleraugen aus dem Weltraum.....22

3) Die Achillesferse Amazoniens: der unbesiegbare Held fällt.....25

3.1) *Point of no return*: der Fehltritt in den Abgrund.....25

3.2) Savannen- und Wüstenbildung: umfangreicher oder undenkbarer Schaden?26

4) Das zukünftige Klima Amazoniens: es ist schon da.....28

4.1) Die Wechselseitigkeit des Klimas: Die kumulative Abholzung präsentiert sofort die Rechnung.....29

4.2) Reihenfolge der Dringlichkeit: besser spät als nie.....31

5) Wälder der Möglichkeiten: Fünf Schritte zur Erholung des Klimas.....32

5.1) Popularisieren der Forstwissenschaft: Wissen ist Macht.....32

5.2) Null Abholzung: seit gestern.....32

5.3) Schluss mit Feuer, Rauch und Ruß: ruf die Feuerwehr!.....33

5.4) Die Wiedererlangung der Haftung für Abholzung: Der Phoenix steigt aus der Asche.....33

5.5) Regierungen und Gesellschaft müssen aufwachen: Realitätsschock.....34

Schlussfolgerungen36

Epilog: Der Prolog einer neuen Ära.....37

Literatur.....38

Einführung

Die *Forsttechnik*⁵ ist unersetzlich

In einer losen Definition ist der Regenwald ein mehrfarbiger, sehr reicher, strukturierter und lebendiger Teppich. Es ist eine Kolonie extravaganter Organismen, die vor 400 Millionen Jahren aus dem Ozean kamen und an Land gingen. Die Bedingungen innerhalb der Blätter des Waldes ähneln denen des ursprünglichen Meereslebens. So funktioniert der Regenwald wie ein schwebendes Meer, mit myriaden von lebendigen Zellen, extrem entwickelt und angepasst. Der Amazonas Wald hat sich in den letzten 50 Millionen Jahren entwickelt und ist der größte jemals bekannte Technologie-Park der Erde, weil jedes der dortigen Trillionen von Organismen ein Wunderwerk der Miniaturisierung und Automatisierung ist. Bei Raumtemperatur und unter Anwendung von biochemischen Mechanismen von fast unglaublicher Komplexität, verarbeitet das Leben kontinuierlich Atome und Moleküle, bestimmt und reguliert dabei die Ströme von Stoffen und Energie.

Wälder bedingen das Klima nach dem, was ihnen am besten passt und erzeugen dadurch Stabilität und Komfort. Ein Unterschlupf der den menschlichen Gesellschaften das Gedeihen ermöglicht.

Das Wohlfühlklima, das wir auf der Erde genießen und das auf anderen Himmelskörpern unbekannt ist, kann weitgehend (zusätzlich zu vielen anderen Kapazitäten) auf die lebenden Organismen zurückgeführt werden, die in der Lage sind, Photosynthese zu betreiben. Kohlendioxid (CO₂) dient als Nahrung für Pflanzen, und wirkt als Rohmaterial, das über biochemische Prozesse unter Verwendung von Licht und Wasser⁶ in Holz, Blätter, Früchte und Wurzeln umgewandelt wird. Wenn Pflanzen CO₂ verbrauchen, verringert sich seine Konzentration in der Atmosphäre. Dabei kühlt der Planet zunächst ab, was wiederum das Pflanzenwachstum reduziert, wodurch weniger CO₂ verbraucht wird. Die anschließende Zunahme von CO₂ führt wieder zur globalen

Erwärmung. Dieser Prozess setzt sich in einem Schwingungszyklus der Selbstregulierung⁷ fort. So funktionieren die Pflanzen als ein Thermostat, der auf Temperaturschwankungen reagiert, indem er die CO₂-Konzentration, des wichtigsten Treibhausgases der Atmosphäre nach Wasserdampf, einstellt. Diese Temperatur-Regulierung über den mäßigen Verbrauch von CO₂ ist nur eines der vielen Lebensmechanismen durch die eine günstige Umwelt-Regulierung entsteht.

Wie aus diesem Bericht ersichtlich sein wird, sind die tropischen Wälder viel mehr als eine Anhäufung von Bäumen, eine passive Quelle der biologischen Vielfalt oder eine einfache Speicherung von Kohlenstoff. Ihre lebendige Technologie und Dynamik der Interaktion mit der Umwelt gibt ihnen eine gewisse Macht über die Elemente, eine angeborene und belastbare Möglichkeit, das Klima zu bestimmen. So konditionieren die Wälder das Klima je nach dem, was ihnen am besten passt. Sie erzeugen dadurch Stabilität und eine Komfort-Zone - einen Unterschlupf, der das Gedeihen menschlicher Gesellschaften ermöglicht.

Südamerika ist ein privilegierter Kontinent durch die umfangreiche Präsenz von riesigen biodiversen Wäldern. Es ist kein Zufall, dass dieser Kontinent, im Vergleich zu anderen Landmassen eines der günstigsten Klimate hatte und noch hat. In den letzten 500 Jahren wurde ein Großteil der ursprünglichen Vegetation außerhalb Amazoniens vernichtet. So hat der sog. „Atlantische Wald“ über 90% seiner ursprünglichen Fläche verloren. Wenn auch spürbar, wurde die Wirkung dieser historischen Abholzung weniger bemerkt als erwartet, weil die Wärme und Feuchtigkeit des feuchten *Schattens* im amazonischen Regenwald den Kontinent angemessen vor extremen Wetterbedingungen schützte und ein mildes Klima erhielt.

⁵ Mangels eines besseren Begriffs, will die metaphorische Verwendung von *Technologie* eine (nicht-menschliche) natürliche Dimension von der unglaublichen Komplexität und Raffinesse zeigen, die in lebenden Systemen vorhanden sind, und die automatisch in Nanoskalen (milliardstel Meter) arbeiten, und somit Bewohnbarkeit und Komfort bedingen. In Arthur C. Clark's drittem Gesetz heißt es: „Jede hinreichend fortgeschrittene Technologie ist von Magie nicht zu unterscheiden.“ Die Technologie der Natur ist unvorstellbar fortgeschritten.

⁶ **Zellbiologie-Animation**, siehe: <http://www.johnkyrk.com/aminoacid.de.html>, auf Deutsch und verschiedenen Sprachen erhältlich.

⁷ **Biotische Regulierung der Umwelt**, siehe: <http://www.bioticregulation.ru/>, auf Englisch.

In den letzten 40 Jahren hat der letzte große Regenwald, eine Quelle atmosphärischen Wassers, die einen Großteil des Kontinents versorgt, unter einer ununterbrochenen Abholzung gelitten. Gleichzeitig sind aufgrund von Naturkatastrophen, die durch Klima Anomalien verursacht wurden, die Verluste gestiegen. Gleiches gilt sowohl für Regen-, Hitze- und Wind-Exzesse als auch für fehlenden Regen (Dürre)⁸.

Die Anden-Regionen als auch die Pazifik-Küste, deren Wasserversorgung von den Gletschern abhängig ist, können infolge der klimabedingten beschleunigten Schneeschmelze in naher Zukunft bedroht sein. Fast der gesamte Regen, der auf die höchsten Gebirge herabfällt und die Gletscher jährlich speist, stammt ursprünglich von dem Wasserdampf, der vom Amazonaswald⁹ emittiert wurde. Östlich der Anden ist die Abhängigkeit des amazonischen hydrologischen Zyklus unvergleichlich größer.

Die Savannen-Gebiete im zentral-südlichen Teil dieser Region, heute Heimat eines der weltweit größten Produktionsgebiete von Getreide und anderen landwirtschaftlichen Gütern, erhält ebenso Wasserdampf des amazonischen Regenwaldes, der für geregelte, gutartige Niederschläge¹⁰ sorgt - Hauptbestandteil der Landwirtschaft.

Die aus Wasserdampf gebildeten Zungen, die während des Sommers aus dem Amazonas kommen, bringen Niederschläge und weitere positive Einflüsse nach Südost- und Südbrasilien (wo sich Südamerikas' größte Produktions-Infrastruktur befindet), sowie weitere Regionen wie das Pantanal und Chaco, Bolivien, Paraguay und Argentinien's landwirtschaftliche Gebiete.

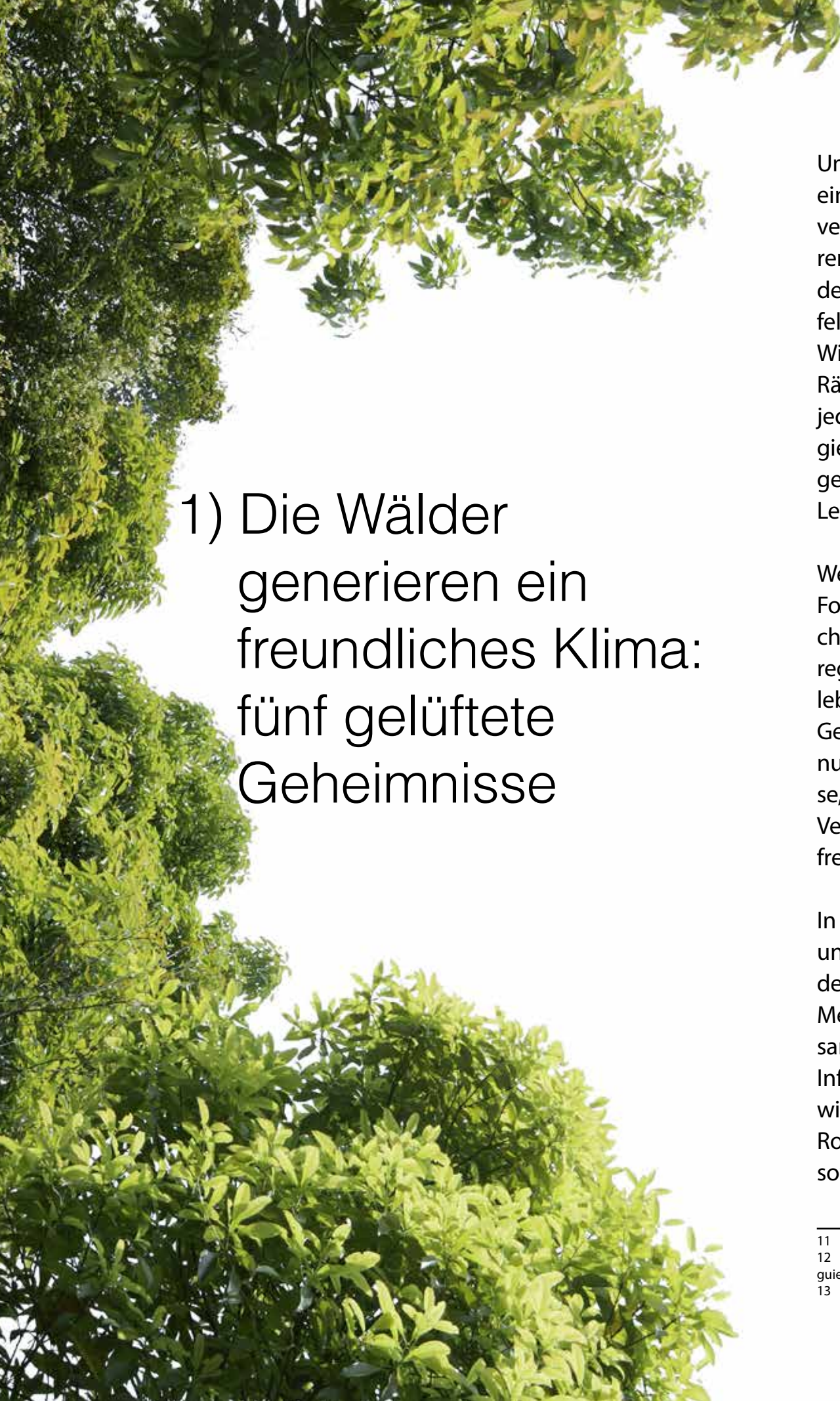
Diese Studie wird zunächst erklären, was wir über den amazonischen Regenwald wissen, wie er arbeitet und wie er in der Lage war, während der verschiedenen geologischen Epochen zu bestehen und zu überdauern. Anschließend werden die Klima-Auswirkungen betrachtet, die die anhaltende Zerstörung des natürlichen Systems verursacht hat. Des Weiteren werden Prognosen darüber aufgestellt, was noch auf uns zukommen wird. Abschliessend geht der Text auf die Bedrohungen für die Klimabilanz ein, die die andauernden Veränderungen auslösen können, indem die zugrunde liegenden Klimarisiken aus verschiedenen Perspektiven analysiert werden.



⁸ (Marengo et al., 2013) Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation (Marengo et al., 2011) Extreme climatic events in the Amazon basin.

⁹ (Rabatel et al., 2012) Review article of the current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century Perspective on glacier evolution and climate change.

¹⁰ (Willmot & Webber, 1998) South American Climate Data <http://climate.geog.udel.edu/~climate/>



1) Die Wälder generieren ein freundliches Klima: fünf gelüftete Geheimnisse

Um Geheimnisse aufzuklären, unterscheidet sich die Arbeit eines Wissenschaftlers nicht wesentlich von den Ermittlungsverfahren eines Detektivs. Sie erforschen Indizien, analysieren Beweise, entwickeln Theorien und bauen Modelle auf. In den spannenden Schlussfolgerungen Sherlock Holmes' gipfelten die kompliziertesten Fälle in einfachen Lösungen. Die Wirklichkeit der Naturwelt scheint reich und komplex, voller Rätsel und Geheimnisse. Die wissenschaftlichen Methoden jedoch, durch Faszination gewürzt und durch kindliche Neugierde vermenschlicht, öffnen die Tore zum Verständnis einiger der geheimnisvollsten Phänomene, die unser tägliches Leben beeinflussen.

Wenn solche Phänomene klargestellt und in ihrer einfachsten Form erklärt werden, demokratisieren sie die wissenschaftlichen Erkenntnisse, was die Entwicklung eines neuen und aufregenden gemeinsamen Bewusstseins für die Welt, in der wir leben, ermöglicht. Es gibt noch viele, von der Natur versteckte Geheimnisse, wie der Wald funktioniert. Hier werden wir auf nur fünf von ihnen eingehen. Es handelt sich um Geheimnisse, die in den letzten Jahrzehnten gelöst wurden und für das Verständnis der Rolle des Waldes bei der Erzeugung eines freundlichen Klimas von entscheidender Bedeutung sind.

In ihrem Eifer, die kolossalen Massen- und Energie-Ströme unter Anwendung von Computern, die konfiguriert wurden, um das Klima zu simulieren und modellieren, haben die Meteorologen anfänglich der Vegetation wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Dieser Ansatz hat sich radikal geändert. Infolge einer großen und wachsenden Zahl von Hinweisen wissen wir jetzt, dass die Vegetation eine lebenswichtige Rolle in vielen Klimaprozessen spielt. Fast alle Klimamodelle, sowie die komplexesten Modelle des Erdsystems, beinhalten

Aufgrund großer und wachsender Beweismaterialien, wissen wir nun die lebenswichtige Rolle der Vegetation in vielen Klimaprozessen.

jetzt aufwendige Darstellungen der Vegetation. Wissenschaftliche Erkenntnisse über die Bestimmung der Rolle von Wäldern im lokalen, regionalen und globalen Wasser-, Energie-, und Kohlenstoff-Zyklus (und anderen Variablen), gelten für alle natürlichen Wälder. Wir werden hier jedoch den Fokus speziell auf die Regenwälder Südamerikas, insbesondere des Amazonas legen.

Alle Klima-Modellstudien betrachten das Amazonas-Becken als Ganzes. Weil es jedoch mehr Daten über das brasilianische Amazonas-Gebiet¹¹ gibt, wurden die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen dort durchgeführt, vor allem zur Überwachung der Abholzung. Angesichts der Bedeutung des gesamten Amazonas-Beckens, also der sogenannten „Pan-Amazonia“, und weil sich die Atmosphäre und Flüsse nicht an politische Grenzen halten, müssen in Zukunft Kartierungs-Arbeiten und Analysen nicht durch nationale Grenzen eingeschränkt werden und Beispielen wie dem RAISG-Projekt folgen, mit seinen umfangreichen und integrierten Untersuchungen über den menschlichen Druck auf den Amazonas¹².

1.1) Recycling der Feuchtigkeit: Geysire des Waldes

Drei Jahrhunderte nach der europäischen Invasion von Nord- und Südamerika¹³ hatte die Aura eines Garten Edens in den tropischen Dschungel bereits ihren romantischen Reiz verloren, möglicherweise wegen der gierigen spanischen *Conquistadores* für denen die sogenannte „Grüne Hölle“ offensichtlich nur Schrecken bereitstellte: ein endloses, monotones Labyrinth, das eher Angst und Verzweiflung als Faszination bewirkte. Dank der wissenschaftlichen Naturforscher,

¹¹ Während der brasilianischen Militärdiktatur (1964-1985) per Dekret definiert als „Legales Amazonien“.

¹² RAISG (Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada) [Georeferenziertes Amazonas Netzwerk über sozio-ökologische Informationen]: <http://raisg.socioambiental.org/>, auf Spanisch, Portugiesisch und Englisch; Atlas Amazonia **Amazonia unter Druck**: http://raisg.socioambiental.org/system/files/Amazonia_under_pressure16_05_2013.pdf, auf Englisch.

¹³ (Gambini, 2000). Espelho índio: a formação da alma brasileira [Indianischer Spiegel – der Aufbau der brasilianischen Seele].

wurde die Faszination Im 19. Jahrhundert neu entfacht, aber jetzt versehen mit einem rationalen Anreiz.

Alexander von Humboldt, der gefeierte, einflussreiche deutsche Wissenschaftler und Naturforscher, der Amerika in den späten 1700er/frühen 1800er Jahren erforscht hat, gilt als Vater der Wissenschaften wie Physische Geographie, Meteorologie und Ökologie. Er verwendete den Begriff *Hylaea* [aus dem Griechischen für Wilder Wald) für Amazonien und inspirierte Generationen von Naturforschern einschliesslich Darwins mit den detaillierten Beschreibungen. Humboldt war der Erste, der eine Verbindung zwischen Wäldern, Luftfeuchtigkeit und Klima nahe legte.

Im frühen 20. Jahrhundert jedoch brach das Universalgenie, Euclides da Cunha, ein erfolgreicher brasilianischer Schriftsteller und Militär, mit seinen illusionslosen Beschreibungen der Hylaea den Bann des wissenschaftlichen Naturalismus. Sein Schüler Alberto Rangel, der, wie auch sein Lehrer von der Not der Kautschukzapfer und Härten des Lebens in den Dschungel bewegt war, hat die Verdammnis der spanischen Invasoren in dem Buch „*Inferno Verde*“ (Grüne Hölle)

Transpiration: Pflanzen benutzen kein Deodorant

Pflanzen schwitzen. Das verdunstende Wasser kühlt sowohl die Blätter als auch die Umwelt. Aber die Transpiration der Pflanzen ist aber noch viel wichtiger. Sie fördert die Saugströmung von nährstoffreichem Bodenwasser durch die Wurzeln und entlang des Stammes bis zu den Blättern. Es ermöglicht den Blättern ihre Mikroportale (Stomata, Spaltöffnungen) zu öffnen und Wasserdampf zu emittieren, und gleichzeitig dem wichtigsten gasförmigen Dünger, das CO₂, hineinzulassen. Die von den Pflanzen produzierten Gerüche, d.h. die organischen Gase, die in diversen Rollen für die Art und Weise wie die Atmosphäre und die Niederschläge funktionieren, verantwortlich sind, werden zusammen mit dem verdunsteten Wasser ausgestoßen. Ohne Transpiration würden die Pflanzen ihr eigenes Wohlergehen nicht mehr regulieren. Sie würden dann die Umgebung nicht mehr kontrollieren, und aus Mangel an Nährstoffen, CO₂ inbegriffen, und übermäßigen Temperaturen sterben.

wiederbelebt und so das Bild von des „Grünen Paradieses“ ein für alle Mal zerstört. Ihre verbale Engstirnigkeit gegenüber dem wilden Lebensraum hat, im Zusammenhang mit der von den Autoren eingestandenen Unkenntnis über die Lebensbedingungen im Wald und dem Scheitern des Kautschuk-Booms, höchst wahrscheinlich ein Erbe an Werten hinterlassen, das die Herzen und den Geist zukünftiger Generationen beeinflusst.

Wie viel hat das nachfolgende Drängen zur „Besetzung“ Amazoniens inklusive der radikalen Ausrottung des Waldes seine Wurzeln in dieser Geschichte? Euclides da Cunha diskreditiert im Vorwort des Buches seines Schülers den ganzheitlichen Ansatz von Humboldt („*die Erkenntnistheorie der Amazonas-Wissenschaft wird aufblühen, wenn man sich weniger Sorgen macht, die gesamte Hylaea aufzudecken*“) und ahnt den kommenden reduktionistischen Anspruch voraus¹⁴.

Recycling von Feuchtigkeit aus dem Regenwald durch Verdampfung hält die Luft über 3.000 Kilometer im Hinterland feucht.

Untersuchungen, die endlich die Geheimnisse des großen Waldes aufdeckten, kamen langsam in Gang. Erste Berechnungen zur Wasser Gleichgewicht des Amazonas¹⁵, die ein signifikantes Wasser-Recycling angaben, wurden von Eneas Salati an Beobachtungsstudien zu Niederschlag und Verdunstung in den 1970er Jahren durchgeführt. Sie zeigten eindeutig, wie der Wald über Feuchtigkeits-Recycling die Luft auf über 3.000 km im Inland feucht hält¹⁶.

Diese Befunde ließen zahlreiche Fragen offen: wo, wieviel, wie, warum und mit welchen Implikationen? In den drei

Jahrzehnten nach Salati's Studien und unter Nichtbeachtung von Cunha's reduktionistischen Annahmen, haben mehr als zwei Dutzend große Forschungsprojekte¹⁷, die hunderte von Wissenschaftlern mit vielen Labors und hochwertigen Geräten, Flugzeugen, Schiffen, Satelliten zusammen brachten, tausende Artikel, dutzende Bücher und zahlreiche Datenbanken mit Informationen erzeugt, die allerdings schwer zu interpretieren sind, wenn man sie isoliert betrachtet.

Es wird behauptet, dass der „heutige Wissenschaftler“ ein Mensch ist, der immer mehr über immer weniger lernt, so dass er schlussendlich Alles über Nichts weiß. Es ist schon eine Ironie, dass, 200 Jahre später, der produktivste Weg der riesigen Menge von Forschungsarbeiten ein Sinn zu geben, Humboldt's hollistischer Ansatz ist, und damit den Reichtum loser Daten auszudrücken und einen integrierten und funktionalen Bericht über die beachtliche Konzentration von Lebens in den Amazonas-Wäldern sowie deren Energie über die Elemente zu schreiben.

Wir wollen die spektakulären Aspekte der Funktionsweise des Waldes erkunden, indem wir dem Pfad des Wassers, ausgehend von der Atmosphäre, über den sehr engen Kontakt mit den Pflanzen bis wieder zurück in die Atmosphäre folgen.

Nachdem die Wolken ihre kostbare Flüssigkeit über den Wald ergiessen, sickert sehr viel von diesem Wasser durch die Baumwipfel und infiltriert die durchlässige Waldsohle, wo es in porösen Böden oder tiefer unten in großen, aus Süßwasser bestehenden wie regelrechte unterirdischen Ozeanen wirkenden Aquiferen, gespeichert wird.

¹⁴ Rafael Leandro spiegelt Euclides da Cunha's Ausdruck in diesem Vorwort: "die Ungeheuerlichkeit des Waldes kann nur gemessen werden, wenn zergliedert..... nur in der späten Zukunft wird man über die Geheimnisse der Natur wissen [...] Die Definition der letzten Aspekte des Amazonas wird den Abschluss aller Naturgeschichte darstellen..." (in Leandro, 2009: *Inferno Verde: Representação Literária da Amazônia na Obra de Alberto Rangel* (Grüne Hölle: Literarische Darstellung des Amazonas im Werk von Alberto Rangel).

¹⁵ (Molion 1975) A climatonic study of the energy and moisture fluxes of the Amazon basin with considerations of deforestation effects; (Villa Nova et al. 1976) Estimativa de evapotranspiração na Bacia Amazônica [Estimate of evapotranspiration in the Amazon Basin]; (Marques et al. 1977) Precipitable water and water vapor flux between Belem and Manaus.

¹⁶ (Salati et al, 1979) Recycling of Water in the Amazon Basin: An Isotopic Study.

¹⁷ **Forschungsprojekte im Amazonas:** ARME, NASA-GTE ABLE, ABRACOS, TRACE-A, RBLE, CAMREX, INPA-Max Planck, INPA-ORSTOM, PDBFF, PELD, LBA, LBA-EUSTACH, LBA-CARBONSINK, LBA-CLAIRE, LBA-ECO, LBA-Barca, LBA-DMIP, GEWEX, ISLSCP, GEOMA, PPBio, Rainfor, AmazonFlux, AMAZE, Amazon Pire, Amazalert, AMAZONICA, Changing Amazônia, ATTO, ACRIDICON-CHUVA, GreenOceanAmazon, AMAZON FACE, etc. Im Rahmen des großen LBA Projekts allein, 217 Forschungs-Teilprojekte wurden in 16 Jahren durchgeführt.



Das Wasser aus dem Boden beginnt die Rückreise in die Atmosphäre, indem es von tiefliegenden und ausgeklügelten Absaugvorrichtungen, d.h. Pflanzenwurzeln, absorbiert wird. Es trotz der Schwerkraft und steigt in aufwendigen Rohrleitungen im Xylem der Baumstämme bis auf eine Höhe von 40 bis 60 m (oder mehr). Schließlich durchläuft das Wasser laminare Verdampfungsstrukturen der Blätter, die, vielseitigen chemischen Solarkollektoren gleich, in der Lage sind, die Sonnenenergie zu absorbieren. Unter Ausnutzung der Liebkosungen des Windes wird es wieder verdunstet, indem reichliche Mengen an Wasserdampf in die Atmosphäre übertragen werden, womit der durch den Regen begonnene Wasserkreislauf abgeschlossen ist.

Ein großer Baum kann in nur einem Tag mehr als tausend Liter Wasser von der Erde pumpen und verdunsten.

Ein großer Baum kann in nur einem Tag mehr als tausend Liter Wasser von der Erde pumpen und verdunsten¹⁸. Im Amazonas-

Gebiet sind Hunderte von Milliarden von Bäumen in den Wäldern heimisch. Pro Tag verdunsten alle Bäume im Amazonas Becken zwanzig Milliarden Tonnen Wasser¹⁹. Als Ganzes fungieren die Bäume, diese wohlwollenden und ruhigen grünen Strukturen der Natur, wie Geysiere und versprühen einen senkrechten Fluss von Wasserdampf in die Luft, größer noch als der Amazonas-Fluss²⁰.

Genau wie ein Gebäude mit vielen Stockwerken kann ein Quadratmeter Boden im Amazonas bis zu 10 Quadratmeter einer komplizierten Blattoberfläche verteilt auf verschiedenen Ebenen in den Baumkronen versorgen. Dies erklärt die Tatsache, warum eine bewaldete Fläche so viel Wasser verdampfen kann, wie die flüssige Oberfläche eines Ozeans oder Sees (wobei 1 m² der Verdampfungsoberfläche dem

Dampf Geysier: größer als der Amazonas-Fluss

Auf der Suche nach einer einfachen Quantifizierung der massiven Transpiration des Waldes, vorgeschlagen von Salati und anderen, haben wir zusammen mit Adriana Cuartas im Jahr 2007 eine aufschlussreiche Berechnung durchgeführt. Unter Anwendung der von dem LBA-Projekt gesammelten Verdampfungsdaten der Wasserflussmesstürme (durchschnittlich 3,6 mm pro Tag oder 3,6 Liter pro m²) haben wir die tägliche Gesamtwassermenge geschätzt, die aus dem Boden durch die Bäume in die Atmosphäre strömt. Die Berechnung für den gesamten Amazonas-Regenwald mit einer Fläche von etwa 5,5 Millionen km² ergab die phantastische Zahl von 20 Milliarden Tonnen (oder 20 Billionen Liter) Wasser pro Tag. Es ergeben sich mehr als 22 Milliarden Tonnen Wasser, wenn alle Wälder des äquatorialen Teils Südamerikas hinzugefügt werden, und 25 Milliarden oder mehr, wenn wir die Wälder in ihrem ursprünglichen Zustand im Jahr 1500¹⁹ berücksichtigen. Zum Vergleich: die tägliche Wassermenge, die vom Amazonas in den Atlantik gespült wird, beträgt 17 Milliarden Tonnen.

gleichen 1 m² an geometrischer Oberfläche entspricht).

Zwanzig Millionen Tonnen Wasser werden von allen Bäumen im Amazonien-Gebiet pro Tag verdunstet.

Diese erstaunlichen Tatsachen, die kürzlich durch eine in der wissenschaftlichen Fachzeitschrift Nature²¹ veröffentlichten Studie bestätigt

wurden, haben unser Verständnis von der Rolle der außerordentlichen Bedeutung der globalen Vegetation bei der Übertragung von Wasser zurück zur Atmosphäre vorangebracht: fast 90% des gesamten Wassers der Atmosphäre über den Kontinenten erreicht diese über Transpiration. Nur etwas über 10% gelangt durch einfache Verdunstung, ohne Beihilfe von Pflanzen in die Atmosphäre. Da diese Übertragung durch Transpiration infolge erheblicher Absorption von Energie der Oberfläche entsteht, sind Pflanzen in der Lage, Niederschlag, Wind und Wetter stark zu beeinflussen.

¹⁸ Unter Annahme eines Kronendachs mit einem Radius von 10 m, versickern an einem Tag 324,2 m² x 3,6 Liter / m² = 1131,1 Liter.

¹⁹ Auf Grundlage der jüngsten Schätzung des Waldgebiets im Amazonasbecken, 5,5 x 1012 x 3,6 Liter m²/m² = 19,8 x 1.012 Liter (~ 20 x 109 Tonnen). Das Waldgebiet im Amazonas (sensu latissimo Eva et al, 2005 ein Vorschlag für die Festlegung der geografischen Grenzen des Amazonas), einschließlich der nassen, trockenen und überfluteten Wälder = 6.280.468 km², oder 6,280468 x 1012 m² x 3,6 Liter / m² = 22,6096848 x 1012 Liter (22,61 x 109 Tonnen). Basierend auf dem geschichtlich mit Wald bedeckten Gebiet (Gebiet mit Wald im Jahr 2004 - Eva et al, 2005 - mehr eindeutige Entwaldung bis 2004 Alves 2007) = 6.943.468 km², oder 6,943468 x 1012 m² x 3,6 Liter / m² = 25 x 1012 Liter (25 x 109 Tonnen).

²⁰ Die Abflussrate des Amazonas an seiner Mündung ist 2 x 105 m³ / Sekunde x 86.400 Sekunden / Tag = 17,28 x 109 m³ / Tag.

²¹ (Jasechko et al., 2013) Terrestrial water fluxes dominated by transpiration.

Durch Pflanzentranspiration wird 90% des gesamten Wasserdampfes der Kontinente in die Atmosphäre übertragen.

Der Wasser-Transfer in die Atmosphäre erfordert Energie. Um diesen Sachverhalt besser zu verstehen, zeigen wir im Folgenden eine enge Parallele dazu. Um die dringend benötigte Elektrizität zu erzeugen, wird viel über die Nutzung von Energie aus den Gewässern des Amazonas diskutiert. Allerdings ist hydraulische Energie nur bei Flusswasser mit Gefälle vorhanden, das durch Verdunstung in die Atmosphäre gelangt ist und von dort an die entsprechenden Quellen im Oberlauf transportiert wird. Die Transpiration von Bäumen, ein wesentliches Bindeglied im Wasserkreislauf, verbraucht Solarenergie, da Wasser aus dem Boden und während der Verdunstung gepumpt wird. Die Bäume fungieren somit wie Aufzüge, die das Wasser hoch in die Atmosphäre heben und freisetzen. Dieses Wasser kann später als Regen zurück in den Boden gelangen, wobei ein Teil der im Wasserdampf integrierten Solarenergie als potentielle Energie in die Stauseen von Wasserkraftwerken übertragen wird.

1.2) Wolkenkondensationskeime: Der Feenstaub über dem grünen Ozean

Die Rücksendung kolossaler Wasserdampf-Volumina in die Atmosphäre ist nur der erste Teil des Rezepts, um reichlichen und gutartigen Regen zu erzeugen und zu halten. Im Jahr 1999 ergab eine der ersten Studien unter Anwendung von Flugzeugen und durch Beobachtungen des TRMM²² Satelliten, die im Rahmen des LBA-Projekts durchgeführt wurde, dass die Luft in der unteren Atmosphäre (Troposphäre) im Amazonas so staublos ist, wie die Luft über dem Ozean, wo es nur wenige Staubquellen gibt. Ein Ergebnis dieser Studie war auch die Feststellung, dass typische Amazonas-Wolken maritimen Wolken ähneln. Diese ungewöhnliche Ähnlichkeit inspirierte

Die Klima-Kraft des Waldes

Wie viel Energie von der Sonne wird verbraucht, um 20 Billionen Liter Wasser pro Tag zu verdunsten? Um eine Vorstellung von der Größe der Energie, die in der Transpiration innerhalb des Amazonas steckt, zu bekommen, kann man dies mit der Energie vergleichen, die Staudämme erzeugen. Das Verdunsten von einem Gramm flüssigen Wasser verbraucht 2,3 Kilojoule solarer Energie. Um dies in elektrische Wasserkraft umzuwandeln, kann man sich einen riesigen Kessel – einen, wie man ihn in eine Steckdose steckt – vorstellen, der das Wasservolumen aufnehmen kann. Wie viel Strom wäre erforderlich, um all dieses Wasser zu kochen und zu verdampfen? Das Itaipu-Kraftwerk mit seinen 14.000 Megawatt Leistung müssten für den Kessel 145 Jahre lang Strom bei maximaler Kapazität erzeugen, um die äquivalente Wassermenge zu verdampfen, die in nur einem Tag im Amazonasgebiet verdunstet. Alternativ wäre es notwendig, um mit den Amazonsbäumen zu konkurrieren und die Arbeit an einem Tag zu erledigen, den Strom von 50.000 Kraftwerke wie Itaipu (oder 200.000 wie Belo Monte am Xingu-Fluss produziert) zu kombinieren. Dieser Vergleich zeigt deutlich, dass die größten von Menschen gemachten Strukturen neben der Klima-Kraft des Waldes mikroskopisch klein sind.

jene Wissenschaftler dem Amazonas den Spitznamen „Grüner Ozean“²³ zu geben. Der Begriff *Grüner Ozean* beschreibt die Ozean-ähnlichen Merkmale dieses kontinentalen, von dichten Wäldern bedeckten Gebiets. Die Bedeutung dieses ungewöhnlichen neuen Konzepts liegt in seinem Vorschlag, dass eine Waldfläche, ausgestreckt unter der Atmosphäre, wo die Weite, Feuchtigkeit und die Exposition gegenüber dem Wind, eine enge Ähnlichkeit zu heutigen Ozeanen aufweist.

Es gab allerdings ein Geheimnis in dieser Ähnlichkeit, weil die meisten der blauen Ozeane zur Trockenheit mit sehr geringen Niederschlagsmengen neigen während die meisten Grünen Ozeane konstante sintflutartige Regenfälle erhalten. Diese Niederschläge waren so reichlich, dass vor der intensiven Abholzung oft gesagt wurde, dass es im Amazonas nur

zwei Jahreszeiten gäbe, nämlich eine feuchte und eine noch feuchtere. Heute gibt es eine ausgeprägte Trockenzeit, und die Dauer der Regenzeit nimmt zunehmend ab²⁴.

Grüner Ozean: Die Amazonasatmosphäre hat seine Luft so frei von Staub, wie die Atmosphäre über dem Blauen Ozean.

Wolken sind Cluster von kleinen Wassertropfchen, die in der Luft schweben. Sichtbare Tropfchen kondensieren bei ausreichend niedrigen Temperaturen aus Wasserdampf, der mit bloßem Auge unsichtbar ist. Allerdings kann die Temperatur alleine den Kondensationsprozess nicht in Gang setzen. Eine feste oder flüssige Oberfläche, die als „Saat“ für die Ablagerung von Dampfmolekülen dient, muss zunächst vorhanden sein. Diese Samen oder Kondensationskerne, sind in der Regel atmosphärische Aerosole: Staubpartikel, Pollen, Salzkörner, Ruß und vieles andere.

Aber die Aerosole kommen in geringen Konzentrationen über dem Grünen Ozean vor, ähnlich wie über dem Blauen Ozean. Angenommen, die Sauberkeit der Luft resultiert einerseits aus dem feuchten Wald, der, ähnlich wie ein Teppich, den Staub unten hält, andererseits aus den ständigen Regenfällen über dem Grünen Ozean, die die Luft reinigen, wie können dann, ohne die übliche Saat für die Keimbildung, solche Niederschlagsmengen auftreten?

Im Rahmen der Untersuchung des Kohlendioxid-Austauschs durch, auf Türmen installierten Messstationen, sog. „Flux-Türme“, wurde in internationaler Zusammenarbeit brasilianischer Wissenschaftler des INPA (Nationales Institut für Amazonas Forschung) und der USP (Universität von São Paulo) zusammen mit europäischen Wissenschaftlern aus den Niederlanden, Deutschland und Italien im LBA-Projekt unter anderen untersucht, ob die von Pflanzen erzeugten

²² Tropical Rainfall Measurement Mission: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>, auf Englisch.

²³ (Williams et al., 2002) Contrasting convective regimes over the Amazon: Implications for cloud electrification.

²⁴ (Marengo 2011) The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region.

Kohlenstoff-haltigen Gase für diesen Austausch wichtig sind. Diese anderen Gase sind die "Düfte" des Waldes und werden auch als *Biogenic Volatile Organic Carbons* (BVOCs²⁵) bezeichnet. So wie eine offene Parfümflasche die Flüssigkeit über Verdunstung verliert und das Parfum in die Umgebungsluft verteilt, so verdunstet auch eine Vielzahl von organischen Substanzen aus den Blättern und gelangt so in die Atmosphäre.

In feuchter Luft und in Kombination mit Sonnenlicht bilden Pflanzendüfte einen sehr feinen Staub mit einer Affinität zu Wasser: das sind die Wolkenkondensationskeime.

Bezüglich der Masse ist die Menge des an die Atmosphäre abgegebenen Kohlenstoffs durch diese organischen Gase sehr gering. Andererseits hat eine Forschergruppe unter Leitung von Meinrat

Andreae und Ulrich Pöschl vom Max-Planck-Institut, die die Chemie der atmosphärischen Gase untersucht, die Effekte dieser Aromen untersucht, wenn sie sich mit der Amazonas-Luft mischen, und dadurch die Geheimnisse der Wolken-Keimung in dieser Region gelüftet²⁶. In feuchter Atmosphäre und in Gegenwart von Sonnenstrahlung oxidieren BVOCs (wie z.B. Isoprene, Terpene und viele andere) und regnen aus. Sie bilden sehr feine wasseraffine Staubpartikel (hygroskopisch), die als effiziente Kondensationskeime fungieren. Poetisch ausgedrückt ist das der Feenstaub, der in der feuchtigkeitsbeladenen Luft magisch erscheint und eimerweise Regen aus tiefhängenden Wolken erzeugt - die Gießkannen im Garten Eden. Solange BVOCs in Form von Gas in der Luft gelöst sind, wäscht sie der Regen nicht aus. Sie werden erst ausgewaschen, wenn sie oxidieren und als Aerosole ausregnen, die dann Regen produzieren. Der Nachschub an BVOCs, der erneut Feenstaub erzeugt, um

den nächsten Regenschauer auszulösen, lässt nie nach.

Neben der Förderung von reichlich und sanftem Regen sind andere biochemische Mechanismen aktiv die, ähnlich den BVOCs, als „chemische Besen“ für der Atmosphäre fungieren. Unter den Bedingungen des Amazonas werden gefährliche Schadstoffe (wie Ozon) aus der Luft entfernt. In den 1980er Jahren wurde während der ersten Untersuchungen zur Atmosphärenchemie mit Hilfe von speziell ausgerüsteten Flugzeugen festgestellt, dass die Luft in der unteren Atmosphäre über dem Amazonas weniger Ozon enthielt (und dadurch gesünder war), als die Luft über den meisten abgelegenen Regionen der Erde (wie in der Antarktis). In den folgenden Jahrzehnten haben andere Forschungsprojekte auf die Rolle der Bäume bezüglich der Reinigung der Atmosphäre hingewiesen²⁷. Aus diesen und anderen laufenden Studien kann angenommen werden, dass amazonische Pflanzen eine Form von Vitamin C als Antioxidationsmittel benutzen, um lebensschädliche Luftgase zu entfernen.

1.3) Die biotische Feuchtigkeits-Pumpe: Wasser spenden, um Regen zu bekommen

In 2005, auf dem Höhepunkt der stärksten Dürre, die den Amazonas bis zu dieser Zeit heimgesucht hatte, arbeiteten wir an der Integration von Daten, die die ersten sechs Jahre des LBA-Projekts²⁸ umfassten. Nach Überprüfung der Hinweise aus Beobachtungen und Modellergebnissen, die in mehreren Arbeiten diskutiert wurden, befasste ich mich der Trend-Frage dieser Zeit: wird der Amazonas-Regenwald infolge der globalen Erwärmung vertrocknen und sterben?

25 **Biogenic Volatile Organic Carbons:** Diese Verbindungen sind biogen, weil sie von lebenden Organismen synthetisiert werden, wie die Düfte der Pflanzen. Es gibt noch andere flüchtige organische Verbindungen, die nicht-biogenen, die einfach als VOCs bezeichnet werden, wie z.B. die Lösungsmittel in der Malerei.

26 (Pöschl et al., 2010) Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon, (Clayes et al., 2004) Formation of secondary organic aerosols through photooxidation of isoprene. Ausgegeben von: Max Planck Institute Newsletter, **Astonishing Discovery over the Amazonian Rain Forest:** <http://www.mpg.de/495047/pressRelease20040224>, auf Englisch.

27 Zum Beispiel: (Rummel et al., 2007) Seasonal variation of ozone deposition to a tropical rain forest in southwest Amazonia.

28 (Nobre, 2005) Is the Amazon Forest a Sitting Duck for Climate Change? Models Need yet to Capture the Complex Mutual Conditioning between Vegetation and Rainfall.



Über Tausende²⁹, wahrscheinlich aber über Millionen von Jahren³⁰ hat sich der südamerikanische Regenwald und seine üppige Flora und Fauna entwickelt ohne Anzeichen dafür, dass diese Entwicklung jemals durch extremes Wetter, wie Trockenheit oder Frost, gestoppt worden ist. Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass im Laufe dieser Zeit die Auswirkungen des externen Klimas auf den Kontinent nur positiv waren, vor allem angesichts der kosmischen Störungen und ihren bekannten Verknüpfungen bezüglich ausgeprägter globaler Klimaänderungen³¹.

Wie konnte dieses herrliche Biom angesichts dieser externen klimatischen Widrigkeiten dem Aussterben widerstehen? Es gibt genügend Beweislinien, die zeigen, dass die Biosphäre nicht nur widerstandsfähig, sondern auch in der Lage ist, sich zu ändern, zu modulieren und sogar ihr eigenes Umfeld zu regulieren³².

Ein bewaldetes Gebiet erzeugt wesentlich mehr Kondensation in Form von Regen-Produktion als der naheliegende Ozean. Es zieht den Wind vom Meer aufs Land, was mehr Regen in die bewaldete Region bringt.

Die Regenwälder Südamerikas gehören zu den dichtesten, verschiedenartigsten und komplexesten terrestrischen Biomen unseres Planeten. Basierend auf Niederschlagsmechanismen im *Grünen Ozean* kann man sich vorstellen, wie diese Wälder das Klima regulieren. Die Niederschläge zu steuern, bedeutet auch die Konvektion zu kontrollieren, was bedeutet, dass diese ausgedehnten Wälder mit einem leistungsfähigen Förderband von Masse und Energie interagieren: die *Hadley circulation*³³. Durch die Regulierung von Niederschlägen kann die Biologie die Stärke der Passatwinde

vom Atlantik beeinflussen, in dem sie die erforderliche Feuchtigkeit vom offenen Meer landeinwärts zieht.

Während Victor Gorshkov und Anastasia Makarieva ihre Theorie über die biotische Regulierung der Umwelt erweiterten³⁴, untersuchten sie die Mechanismen, wie die Pflanzentranspiration mit physikalischen Effekten in der Atmosphäre zusammenhängt. Aus den überraschenden Ergebnissen ihrer Analyse entwickelten sie die Theorie von der biotischen Pumpe der Luftfeuchtigkeit³⁵. Diese Theorie erklärt, wie die Transpiration und die Kondensations-Prozesse, die durch Bäume vermittelt und manipuliert werden, den atmosphärischen Druck und seine Dynamik ändern, was zu einer erhöhten Feuchtigkeitzufuhr vom Ozean landeinwärts führt, wo die bewaldeten Landmassen sind.

Makarieva et al. haben herausgefunden, dass die Kondensation von Wasserdampf in der Atmosphäre lokal zu einer Verringerung des Drucks führt und eine dynamische Energie erzeugt, die die Winde quer durch die resultierenden Druckgradienten³⁶ beschleunigt. Der entscheidende Punkt der Theorie ist, dass Oberflächenverdunstungsgradienten – Hand in Hand mit der entscheidenden Kondensation in Wolken – die Hauptfaktoren für die Richtung und Intensität der regenbringenden Winde sind, viel mehr als die oberflächlichen Temperaturgradienten.

Somit ergibt sich, dass ein bewaldetes Gebiet, in dem so viel oder sogar mehr Wasser verdunstet wie über einer benachbarten Ozeanoberfläche – und das in Form von Regen-Produktion wesentlich mehr Kondensation erzeugt – die mit

Feuchtigkeit beladenen Luftströme vom Meer landeinwärts zieht, und genau in dieses bewaldete Gebiet bringt. Wenn aber der Wald abgeholzt wird, entsteht landeinwärts wesentlich weniger Verdunstung als über dem benachbarten Ozean. Das führt zu einer konsequenten Abnahme der Kondensation und damit zu einer Umkehr des Netto-Feuchtigkeitsflusses vom Land zum Meer³⁷. Daraus folgend entsteht eine Wüste, wo vormals ein Wald war.

Aufgrund von Voraussagen basierend auf der von Makarieva und Gorshkov entwickelten Theorie der biotischen Pumpe, schlägt eine Hypothese vor, dass Dürren in Urwäldern durch die starke Transpiration der Bäume ausgeglichen werden. Diese Prognose wendet sich gegen den gesunden Menschenverstand, weil ein jeder weiß, dass, wenn eine Topfpflanze für ein paar Tage nicht begossen wird, sie welkt und sogar sterben kann.

Diese Idee widerspricht auch dem Wissen der Öko-Physiologen, die glauben, dass die Pflanzen ihre Stomata schließen und die Transpiration beenden um Wasser zu speichern, wenn Niederschläge stoppen und der Wassergehalt des

Amazonien, das Herz der Welt

Wie können wir den Wasserkreislauf verstehen, wenn man die Landschaft betrachtet? Wasser bewässert und entwässert den Boden auf ähnliche Weise wie Blut, das die Körpergewebe be- und entwässert. Wenn wir die Flüsse als Analogien zu Venen verstehen, die das gebrauchte Wasser abführen und es zu seinem Ursprung im Meer transportieren, wo sind dann die Arterien des natürlichen Systems? Die Antwort: Die Arterien sind die luftgetragenen Flüsse („rios voadores“). Sie bringen uns frisches Wasser, das durch Verdunstung über dem Meer erneuert wurde. Zur Vervollständigung des Kreislauf-Systems fehlt nur noch das Herz: es ist die Pumpe, die die Strömung der Luft-Arterien treibt. Die Theorie der biotischen Pumpe erklärt, dass die Energie der antreibenden Winde die luftgetragenen Flüsse kanalisiert. Diese Flüsse existieren infolge des großen Regenwaldes, der als Herz des Wasserkreislaufs funktioniert.

29 (Baker et al., 2001) The history of South American tropical precipitation for the past 25,000 years.

30 (Hooghiemstra et al., 2002) Evolution of forests in the northern Andes and Amazonian lowlands during the Tertiary and Quaternary.

31 (Berger and Yin, 2012) Astronomical Theory and Orbital Forcing.

32 (Foley and Costa, 2003) Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate; (Gorshkov et al., 2004) Revising the fundamentals of ecological knowledge: the biota–environment interaction; (Pielke and Avissar, 1998) Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate.

33 (Poveda and Mesa, 1997) Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena.

34 (Gorshkov et al., 2000) Biotic Regulation of the Environment: Key Issues of Global Change.

35 (Makarieva and Gorshkov, 2007) Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land.

36 (Makarieva et al., 2013) Where do winds come from?

37 Bereits in Betracht und unter Ausschluss der Auswirkungen der globalen Zirkulation und verbunden mit trägen Bewegungen und Beschleunigungen.



Bodens abnimmt. Gleichzeitig gibt sie einen Hinweis auf das langjährige öko-physiologische Rätsel: Warum hat sich die Photosynthese hin zur „Verschwendung“ von Wasserdampf entwickelt?

Überraschenderweise haben Scott Saleska et al. ihre Beobachtungen in der Fachzeitschrift *Science*³⁸ veröffentlicht, die die theoretischen Vorhersagen von Makarieva und Gorskow bestätigen. Während des Höhepunktes der Dürre von 2005 waren die „begrüneten“ Teile des Amazonas die am stärksten betroffenen Gegenden. Das heißt, dass eine größere Anzahl von neuen Blättern in Baumkronen (wie vom MODIS Sensor des Terra Satelliten beobachtet) in Bereichen gespiert ist, in denen weniger Regen gefallen war (nach TRMM Satelliten-Datensätzen).

Die Ergebnisse dieser auf Satellitenbildern basierenden Studie wurden bereits von oberflächenbasierten Messungen der Wasserflussmesstürme des LBA-Projekts unterstützt, die keine Abnahme der Transpiration von Bäumen während der trockenen Jahreszeiten beobachtet hatten. Dieser Befund legt nahe, dass Bäume bei Trockenheit mit tiefen Wurzeln (und mit Zugang zu reichlich Grundwasser) einem internen Programm zur Aufrechterhaltung oder Ausweitung der Transpiration folgen. Auf diese Weise wird die Transpiration von Wasserdampf auf Oberflächenniveaus und die entsprechende Kondensation in den Wolken im Förderband feuchter Luft erhalten, die von den benachbarten Ozeanen ins Inland transportiert wird. Die Bedeutung davon ist, dass das atmosphärische Wasser weiterhin importiert wird, die Dürren ausgleicht und die Kontinuität des Waldes gewährleistet. Die Theorie der biotischen Pumpe gewinnt immer mehr an Akzeptanz³⁹ und ist bereits durch Beobachtung bewiesen⁴⁰.

1.4) Die Luft-Flüsse: frisches Wasser durch luftgetragene Arterien

Ein Blick auf die Weltkarte enthüllt interessante Anordnungen und Symmetrien in der Verteilung von Wäldern und Wüsten rund um den Globus mit drei spezifischen Bändern, die besondere Aufmerksamkeit verdienen: der Waldgürtel rund um den Äquator und zwei Gürtel von Wüsten rund um den nördlichen und südlichen Wendekreis. Diese Geographie der kontrastreichen Landschaften wird leicht mit der sog. *Hadley Zirkulation*⁴¹ erklärt.

Unter dem Einfluss der Hadley-Zirkulation müsste der südlich-zentrale Teil von Südamerika eigentlich zu Trockenheit tendieren.

Die einfallende Sonnenstrahlung in der Äquatorialzone ist größer als in höheren Breiten. Daher existiert aufgrund physikalischer Effekte ein großer Aufwind von Luft in dieser Region, die sich abkühlt und zur Bildung von Regen führt, was der Verbreitung von Wäldern zu Gute kommt. Die aufgestiegene Luft, die anschließend ihre Feuchtigkeit verloren hat, muss irgendwo hin, und bewegt sich daher auf beiden Hemisphären in Richtung der Subtropen. Wenn sie wieder absinkt und sich dabei erwärmt, absorbiert diese trockene Luft Feuchtigkeit vom Erdboden und begünstigt so die Bildung von Wüsten.

Allerdings gibt es Ausnahmen von dieser allgemeinen Regel und der südlich-zentrale Teil von Südamerika ist eine davon. Da diese Region von der Hadley-Zirkulation beeinflusst ist, sollte sie eigentlich zu ariden, also wüstenähnlichen Konditionen neigen. Man muss nur die Atacama Wüste auf der anderen Seite der Anden, die Namib und Kalahari Wüsten in Afrika oder die Australische Wüste betrachten. Sie liegen alle auf der gleichen geographischen Breite wie das begünstigte grüne Gebiet

³⁸ (Saleska et al., 2007) Amazon forests green-up during 2005 drought.

³⁹ Zum Beispiel: (Sheil and Murdiyarso, 2009) How Forests Attract Rain: An Examination of a New Hypothesis.

⁴⁰ (Poveda et al., 2014) Seasonal precipitation patterns along pathways of South American low-level jets and aerial rivers.

⁴¹ Hadley-Zellendefinition: http://en.wikipedia.org/wiki/Hadley_cell, auf Englisch.

Die fliegende Flüsse: Erzählung einer schönen Geschichte

Beim Betrachten des Amazonas-Regenwalds von der Spitze eines Turms einer LBA Projektstudie tauschten wir im Jahr 2008 erste Ideen über das Abenteuer, die Forschung sowie die Öffentlichkeitsarbeit zum Umweltbildungsprojekt "Flying Rivers" mit dem Piloten Gerard Moss⁴² aus. Mit Finanzmitteln Mitteln von PETROBRAS und der Teilnahme von Enéas Salati, einem Pionier in Studien über Feuchtigkeits-Recycling im Amazonas, sowie mit anderen namhaften Wissenschaftlern, hat Moss die Wasserdampf-Flüsse über Jahre hinweg in seinem einmotorigen Flugzeug verfolgt und dabei zahlreiche Proben für die Analysen gesammelt. Dabei hat er es verstanden, die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit für sein Abenteuer zu erwerben. Das Projekt leistete in Schulen und über die Verbreitung im Internet einen außergewöhnlichen Beitrag für die Umweltbildung. Oft wurden die Routen der fliegenden Flüsse über die sozialen Netzwerke gepostet, um den Menschen zu zeigen, wie das Wasser zu ihnen kommt. Das wertvollste Ergebnis dieses Projektes war es, die emotionale Seite der Menschen durch eine Kombination von spielerischem Stimulus, Abenteuer und wissenschaftlichem Engagement zu erreichen und bei ihnen dadurch ein Gefühl der Wertschätzung für die Umwelt, Wasser und Wald zu wecken.

das für 70% des Bruttoinlandsprodukts des Kontinents verantwortlich ist und ein Viereck bildet: Es wird im Norden von Cuiabá, im Osten von São Paulo, im Süden von Buenos Aires und im Westen von den Anden begrenzt.

Schulen bringen den Schülern bei, dass Wasser aus dem Meer verdunstet, dann ins' Landesinnere gelangt, als Regen fällt, in Flüssen gesammelt wird und schließlich ins Meer zurückkehrt. Die Verbindung zwischen Wasser-Verdunstung über dem Meer und ihre Advektion in Richtung Land, ein einfaches Konzept des Wasser-Zyklus, ist nicht falsch, erklärt jedoch fast gar nichts. Warum z.B. existieren Wüsten oder

warum bewegt sich Wasserdampf, der vom Meer kommt, auf den Kontinenten so uneinheitlich?

Salati et al. haben beim Vergleichen der chemischen Signaturen⁴³ des ozeanischen Wasserdampfs, der in das große Theater Amazoniens eindringt, mit den entsprechenden Signaturen vom Ablaufwasser, das in den Ozean durch den Amazonas-Fluss zurückkehrt, festgestellt, dass ein erheblicher Teil des Wassers, das als Dampf durch den Luft-Kanal ins Landesinnere gekommen ist, dieses Gebiet nicht durch den terrestrischen Kanal verlässt⁴⁴.

Diese Autoren schlossen daraus, dass der Amazonas Wasserdampf in andere Regionen des Kontinents exportiert wird und dabei auch Flussbecken des Kontinents bewässert, die nicht zum Amazonas-Gebiet gehören. Vorläufige Analysen von in dieser Zeit in Rio de Janeiro gesammelten Wasser-Proben lieferten Anzeichen dafür, dass einige von ihnen von Quellen im Inland kamen und nicht vom nahegelegenen Ozean. Genauer gesagt hat diese Wasser das Amazonas-Gebiet durchlaufen. Diese Forschungsgruppe war die erste, die den Vorschlag gemacht hat, dass der Regen in Südamerika außerhalb Amazoniens durch kontinentalen Langstrecken Wasserdampf-Transport erbracht werden könnte.

Das Konzept der atmosphärischen Flüsse wurde 1992 von Reginald Newell und Nicholas Newell⁴⁵ eingeführt, um filamentförmige Strömungen in der unteren Atmosphäre zu beschreiben, die in der Lage sind, riesige Mengen an Wasser als Dampf zu transportieren, typischerweise in größere Volumen, als durch den mächtigen Amazonas-Fluss, der eine

Durchflussmenge von 200 Millionen Liter pro Sekunde oder 17 Milliarden Tonnen pro Tag hat.

Luft-Flüsse verbinden die mit Feuchtigkeit beladenen Passatwinde aus dem äquatorialen Atlantik mit den Winden, die über den Amazonas bis hin zu den Anden und von dort aus, je nach Jahreszeit, über dem südlichen Teil Südamerikas wehen.

Fast drei Jahrzehnte nach Salati's Feststellungen beschrieben José Marengo et al.⁴⁶ die Zirkulation, die die feuchtigkeitsbeladenen Passatwinde des äquatorialen Atlantik mit den Winden, die über dem Amazonas bis zu den Anden hin wehen, verbindet, und von dort aus, je nach Jahreszeit, bis in den südlichen Teil Südamerikas reichen. Obwohl die Autoren ihre Erkenntnisse im Zusammenhang mit dem sog. Low-Level-Jet Transport erklärten, ist dieses Konzept den atmosphärischen Flüssen sehr ähnlich. Ihren Erläuterungen nach arbeitet ein System von Monsunen auch in Südamerika, ähnlich dem in Asien. Aufgrund der Auswirkungen des Regenwaldes (Wald-Geysire) und der Anden (eine 6 km hohe Barriere), macht die anhaltend feuchte Amazonas-Luft in der Nähe von Acre, dem westlichsten Bundesstaat Brasiliens, eine Biegung und transportiert, wie schon erwähnt, ausgiebige Mengen Wasserdampf in das glückliche Rechteck, was die eigentlich zu erwartende Tendenz zu Dürre in diesem Gebiet konterkariert.

Josefina Arraut⁴⁷ et al. haben kürzlich eine klimatologische Rezension der Luft-Flüsse über Südamerika erstellt und dabei den dazugehörigen Dampftransport geschätzt. Dabei führten sie ein neues Konzept von „Luft-Seen“ ein: nämlich jene Orte, die atmosphärisches Rückstauwasser akkumulieren und über Bestände an Wasserdampf verfügen, der abregnen kann.

42 **Fliegende Flüsse** Projekt: <http://riosvoadores.com.br/english/>, auf Englisch.

43 Definiert durch die Anwendung von Indikatoren, die Isotopensignaturen tragen. Isotope sind zwei oder mehr Atome mit der gleichen Anzahl von Protonen, aber unterschiedlichen Massen. Eine gute Analogie ist es, an Zwillinge mit identischen Eigenschaften mit Ausnahme des Gewichts zu denken. Die Isotopensignatur ist die numerische Beziehung zwischen der immensen Vielzahl von atomaren Zwillingen in einem Material oder in Stoffen. Wasser kann verschiedene Kombinationen von Sauerstoffisotopen (¹⁶O und ¹⁸O) und Wasserstoffisotopen (¹H und ²H) enthalten, wodurch Wassermoleküle unterschiedlicher Massen entstehen. Der Anteil dieser Atom-Zwillinge, die zum Beispiel im Meerwasser auftreten, ändert sich bei Verdunstung (die leichteren schweben zuerst) und bei Regen (die schwereren regnen zuerst ab). Somit ist es bei der Analyse der Isotopensignatur einer Wasser- oder Dampfprobe die Unterscheidung möglich, ob sie aus dem Wald oder aus dem Meer gekommen ist.

44 (Salati et al., 1979) Recycling of Water in the Amazon Basin: An Isotopic Study; (Matsui et al., 1976) Isotopic hydrology in the Amazonia, 2, Relative discharges of the Negro and Solimões rivers through ¹⁸O concentrations.

45 (Newell and Newell, 1992) Tropospheric Rivers? - A Pilot Study.

46 (Marengo et al., 2004) Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalysis: Characteristics and temporal variability.

47 (Arraut et al., 2012) Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America.

Extremereignisse: Das Leben prüft und gleicht aus

Infolge der globalen Erwärmung gibt es eine größere Energie-Ansammlung in der Atmosphäre, was die Wahrscheinlichkeit von intensiven Klimaphänomenen erhöht. Dieser Trend wurde bereits vor Jahrzehnten von Meteorologen vorhergesagt. Allerdings wird die größere Intensität und Häufigkeit dieser Ereignisse nun Jahrzehnte früher als ihr bisher prognostiziertes Auftreten beobachtet. Es muss einen Faktor in der Komplexität des Klimasystems geben, der die Beschleunigung dieser Effekte erklären kann. Geologische Aufzeichnungen zeigen, dass extreme Klimate in der Erdgeschichte bereits lange, bevor der Mensch erschien, stattgefunden haben. Aber im Gegensatz zu dem, was man nach Katastrophen erwarten würde, deuten alle Hinweise immer auf eine robuste und stabilisierte Erholung, was die Extreme abmildert. Ausschließlich geophysikalische Systeme verfügen nicht über diese Stabilität. Nur das Leben und seine selbst-regulierenden Prozesse bieten befriedigende Erklärungen für die Klimageschichte der Erde⁵².

Mit dem gut etablierten und an Glaubwürdigkeit gewinnenden Konzept der Luftflüsse haben Dominick Spracklen⁴⁸ et al. einen neuen Ansatz entwickelt. Hierbei wird die mit Vegetation bedeckte Oberfläche, die dem Luftfluss ausgesetzt ist (gemessen durch den kumulativen Blattflächen-Index) mit dem Niederschlag entlang der Transportstrecke der Luftmasse korreliert. Ein Luftfluss verbindet Feuchtigkeits-spendende Regionen mit Feuchtigkeits-aufnehmenden Gebieten. Deshalb sind im Fluss-Oberlauf liegende Wälder von entscheidender Bedeutung. Die Autoren fanden heraus, dass der Amazonas tatsächlich die ursprüngliche Luft-Quelle des meisten Regens in Südamerika ist.

1.5) Unregelmäßige Baumkronen: Windschutz

Makarieva und Gorshkov⁴⁹ haben eine neue physikalische Definition für Orkane, Wirbelstürme und Tornados aufgestellt: „zeitlich umgekehrte und verlängerte Explosionen infolge des

volumetrischen Verschwindens von Wasserdampf in der Atmosphäre durch Kondensation“⁵⁰. Paulo Nobre hat beiden Autoren anschließend folgendes Problem vorgestellt: „Die Frage, die sich stellt, ist zu verstehen, warum Hurrikane sich nicht über tropischen Wäldern wie dem Amazonas, entwickeln, wo die Lieferung von Wasserdampf durch den Wald und deren Beseitigung in Form von tropischen Regen so reichlich ist“⁵¹.

Die Dienste, die der Wald für das Klima leistet, beinhalten eine Versicherung gegen destruktive Wetter-Ereignisse, wobei die durch die Kraft des Windes übertragene Energie reduziert wird.

Als Reaktion darauf zeigten Makarieva und Gorshkov warum eine große Landfläche, die mit Wald bedeckt ist, theoretisch ein Hindernis für die Bildung von Wirbelstürmen und anderen anormalen Wettermustern einschließlich Dürren und Überschwemmungen ist. Den Autoren zufolge verringern zwei Faktoren die Gefahr, dass sich Tornados oder Wirbelstürme bilden: die turbulente Reibung der aktiv transpirierenden Baumkronen des Amazonas, wodurch sich über großen Gebieten gleichmäßige Niederschlagsraten bilden, sowie - infolge der biotischen Pumpe - die Sogwirkung des Windes über größere Entfernungen. Die Aufzeichnungen von Wirbelstürmen zeigen, dass die Umweltbedingungen in Regionen, die von ausgedehnten Wäldern bedeckt sind und die in der Nähe von Ozeanen⁵³ liegen, weniger rauh sind.

Zusätzlich zu allen anderen Diensten, die der Wald für das Klima bietet, liefert er auch eine Versicherung gegen zerstörerische Wetter-Ereignisse, indem die Kraft der Wind-Energie reduziert wird. Weitere klassische Funktionen von Wäldern für die Regulierung des Wasser-Zyklus auf dem Land sind gut bekannt, wie z.B. die Begünstigung der Grundwasser-Neubildung und der Hochwasser-Schutz⁵⁴. Zwei Aspekte unter vielen anderen.

48 (Spracklen et al., 2012) Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests.

49 (Makarieva et al., 2008) On the validity of representing hurricanes as Carnot heat engine.

50 Laut den Autoren: „The driving force of all hurricane processes is a rapid release, as in compressed spring, of potential energy previously accumulated in the form of saturated water vapor in the atmospheric column during a prolonged period of water vapor evaporation under the action of the absorbed solar radiation.“ (Makarieva et al., 2014) Condensational power of air circulation in the presence of a horizontal temperature gradient.


51 (Nobre P., 2009a) Interaktives Kommentar der Begutachter über „On the validity of representing hurricanes as Carnot heat engine“.

52 (Gorshkov et al., 2000) Biotic Regulation of the Environment.

53 **Karte der Sturmbahnen** zeigt alle aufgezeichneten Wege von Hurikanen; die äquatorialen Regionen mit Wäldern und ihrer ozeanischen Umgebung sind frei von solchen Stürmen http://en.wikipedia.org/wiki/Storm_track, auf Englisch.

54 **Beispiel zur Minderung des Hochwasser-Risikos:** <http://www.forestry.gov.uk/fr/URGC-7QJDH7>, auf Englisch.





2) Die Abholzung führt zu einem unwirtlichen Klima

Was können wir von der Zerstörung dieser Wälder in Anbetracht der umfangreichen und aufwändigen, von der Wissenschaft bewiesenen Effekte, die Wälder auf das Klima ausüben, erwarten? Um eine Bewertung der Auswirkungen von Abholzung auf das Klima machen zu können, wurde eine zunehmende Anzahl von Feldexperimenten, Modellierungen und Beobachtungsstudien durchgeführt. Hinzu kamen in jüngster Zeit auch theoretische Analysen. Was sind die vorhergesagten Folgen der Abholzung und was wurde bereits beobachtet?

2.1) Die virtuelle Abholzung: Simulation der Vernichtung der Bäume

Eine der größten Tugenden der Klimamodelle ist ihre Fähigkeit, zukünftige Szenarien zu simulieren. Diese Art von Übung ist nicht eine Vorhersage im physikalischen Sinn. Es ist vielmehr das einzige Werkzeug, um komplexe Systeme zu analysieren und gut fundierte Extrapolationen durchzuführen, wenn physikalische Theorien noch nicht zur Verfügung stehen.

Diese Simulationen sind wertvoll für spezifische Situationen, um z.B. die mit der Abholzung assoziierten klimatischen Risiken zu erforschen. In einer virtuellen Umgebung, wie bei einem Flug-Simulator, können Katastrophenszenarien immer wieder bewertet werden, wobei die entscheidenden Faktoren ebenso wie die Anfangsbedingungen und die möglichen Konsequenzen riskanter Manöver hinterfragt werden können.

Im Jahr 1991 führte Carlos Nobre eine der meist zitierten Studien zur Simulation über die Auswirkungen der gesamten

Abholzung des Amazonas Regenwaldes auf das Klima durch⁵⁵. Unter Anwendung eines allgemeinen Zirkulationsmodells (GCM⁵⁶) der Atmosphäre gekoppelt mit einem Vegetations-Modul (SIB⁵⁷), haben die Autoren herausgefunden, dass es, wenn im Modell Wälder vollständig durch eine degradierte Weide ersetzt würden, es zu einem signifikanten Anstieg in der durchschnittlichen Oberflächentemperatur (etwa 2,5°C) kommen würde und die jährliche Evapotranspiration (30% Reduktion), der Regen (25% Abnahme) und der Oberflächenabfluss (20% Reduktion) abnehmen würden. Außerdem ergab sich eine Verlängerung der jährlichen Trockenzeit in der südlichen Hälfte des Amazonas-Beckens.

In den folgenden zwei Jahrzehnten haben weitere Studien zusätzliche Details und allgemeinere Ergebnisse geliefert, die diese Schlussfolgerungen unterstützen. Deborah Lawrence und Karen Vandecar haben kürzlich eine Literaturübersicht⁵⁸ über die Auswirkungen (...) der Abholzung der Tropenwälder auf das Klima erstellt, die schlussfolgert (mehrere GCMs stimmten zu), dass die Abholzung im regionalen Maßstab, ein wärmeres, trockeneres Klima über dem abgeholzten Gebiet verursachen würde. Die Modelle, die die komplette Abholzung des Amazonas simulieren, sagen eine Klima-Erwärmung von 0,1-3,8°C (im Mittel 1,9°C) und eine Reduktion des Niederschlags um jährlich ca. 140-640 mm (im Durchschnitt 324 mm/Jahr oder eine Abnahme von 10-15%) voraus.

Die Abholzung kann jedoch noch wesentlich schwerwiegendere Folgen haben. German Poveda und Oscar Mesa⁵⁹ schlugen im Jahr 1997 das Modell einer hydro-meteorologischen Brücke über dem Amazonas-Regenwald vor - eine Verbindung der zwei großen Ozeane, was auf die Existenz von

⁵⁵ (Nobre C. et al., 1991) Amazonian Deforestation and Regional Climate Change.

⁵⁶ Definition der GCM von Lawrence und Vandecar (2014): "... globale drei-dimensionale Computer Modelle für Klimatische-Systeme, die in einer größeren Skala arbeitet. Die neuste Ausgabe beinhaltet Darstellungen der Atmosphäre, der Ozeane und der Landoberfläche (...) und eine deutliche Darstellung von Pflanzenhauben und ihre Effekte auf Energie und Wasserströme, Einschließlich strahlenden und turbulenten Transfers, sowie der physikalischen und biologischen Kontrolle der Evapotranspiration."

⁵⁷ (Sellers et al., 1986) Simple Biosphere Model.

⁵⁸ (Lawrence and Vandecar, 2014) Effects of tropical deforestation on climate and agriculture.

⁵⁹ (Poveda and Mesa, 1997) Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena.

Klimakreuzeffekten zwischen den beiden Ozeanen, vermittelt durch den Regenwald über der Atmosphäre, hindeutet.

Einer ähnlichen Richtung folgend, haben Paulo Nobre⁶⁰ et al. vor kurzem die Auswirkungen der Abholzung auf die Niederschläge im Amazonas mit Hilfe von numerischen Simulationen untersucht und dabei die Antworten der Ozeane auf die Abholzungs-Szenarien⁶¹ ein- bzw. ausgeschlossen. Beim Vergleich der Simulationen eines typischen atmosphärischen Zirkulationsmodells (GCM) mit dem eines GCM in Kopplung an ein Ozeanmodell, das die inneren Bedingungen der Ozeane (z.B. Salzgehalt und Strömungen) simuliert, entdeckten die Autoren eine signifikant höhere Reduktion der Niederschläge. Simuliert das GCM in Kopplung an das Ozeanmodell ein Szenario der kompletten Abholzung des Amazonas, beschreibt es, unter Berücksichtigung interner ozeanischer Mechanismen, eine 42%-ige Abnahme der Niederschläge. Im Vergleich hierzu reduzierten sich die Niederschläge um 26%, wenn diese Mechanismen nicht im Modell dargestellt wurden. Die Ozeane wurden immer in Betracht gezogen; einschließlich ihrer internen Reaktionen, die realistischere Simulationen ermöglichen.

Viele der Modellprojektionen über die Folgen der Abholzung sind bereits beobachtet worden, vor allem die Ausdehnung der Trockenzeit. Diese virtuellen Experimente zeigten, dass mit einer längeren Trockenzeit nach der vollständigen Zerstörung des Amazonas-Regenwalds zu rechnen ist. Diese Verlängerung der Trockenzeit wird jedoch bereits jetzt festgestellt, nach dem knapp 19% des Waldes durch Kahlschlag vernichtet sind. Daher scheinen diese Modelle die negativen Folgen der Abholzung in simulierten Szenarien zu unterschätzen. Die Ergebnisse der jüngsten Projektionen, die ebenfalls Ozeanprozesse umfassen, sagen noch schlimmere

Bedingungen voraus und lassen die Alarm-Glocken läuten.

Die Beseitigung des Waldes – des wichtigsten kontinentalen Kondensationsmittels - entspricht dem Ausschalten der atmosphärischen Luftfeuchtigkeits-Pumpe.

Man muss allerdings die Theorie der biotischen Pumpe und ihre Vorhersagen des reduzierten Regens berücksichtigen. Im Gegensatz zu herkömmlichen numerischen Modellen baut eine physikalische Theorie ihre Wissensblöcke allein auf den Grundgesetzen der Natur auf. Wenn die Theorie stimmt, ist es möglich, physikalische Effekte quantitativ vorherzusagen, allein durch die Analyse der betreffenden Szenarien und durch Logik.

Makarieva und Gorshkov haben vorhergesagt, dass die vollständige Abholzung des Amazonasgebiets die Niederschläge reduzieren würde, und zwar in erster Linie als Folge des Verlustes des Niederdruck-Effekts (Saug-Effekt) im Zusammenhang mit der Kondensation, die mit einer Abnahme der Oberflächenverdampfung verbunden ist. Da die Theorie der biotischen Pumpe ebenfalls die Verfügbarkeit von Wasserdampf zulässt, der es ermöglicht, dass die Niederschläge im Amazonas die Wälder transpirieren lässt, würde eine totale Vernichtung des wichtigsten Transpirationsmittels die biotische Pumpe komplett und ein für alle Mal stoppen.

Die Theorie legt nahe, dass, wenn die Pumpe, die feuchte Luft auf den Kontinent zieht, ausgeschaltet wird, sich die Richtung des Feuchtigkeitsflusses ändert und die Kondensation über dem Ozean größer würde (schwächer als die biotische Pumpe, ist die ozeanische Kondensationspumpe immer eingeschaltet), was dann trockene Bedingungen auf dem Land zur Folge hätte⁶².

Die verwendeten Klimamodelle zum Simulieren der



⁶⁰ (Nobre P. et al., 2009b) Amazon Deforestation and Climate Change in a Coupled Model Simulation.

⁶¹ Nur mit Benutzung der beobachteten historischen Reihe von Temperaturen der Meeresoberfläche.

⁶² Bereits mit Berücksichtigung und unter Ausschluss der Auswirkungen von der globalen Zirkulation verbunden mit trägen Bewegungen und Beschleunigungen.

Abholzung berücksichtigen noch nicht diese neue physikalische Theorie, so dass diese nicht die Wirkung projizieren, die zu einer 100%-gen Abnahme der Niederschläge führen könnte.

2.2) Die tatsächliche Abholzung: Adleraugen aus dem Weltraum

Die Abholzung ist sowohl real als auch riesig, und ihre Auswirkungen auf das Klima sind gut dokumentiert. Untersuchungen mit Hilfe von mikrometeorologischen Türmen haben gezeigt, dass die Umwandlung von Wald zu Weide zu erhöhten Oberflächen-Temperaturen führt und die Evapotranspiration verringert, was analog zu den Modell-Voraussagen ist⁶³. Satellitenbeobachtungen haben gezeigt, dass in der Trockenzeit, in Übereinstimmung mit der Theorie der biotischen Pumpe, die Evapotranspiration in den Wäldern weiterhin auftritt oder sich sogar erhöht, jedoch nicht in abgeholzten Regionen⁶⁴.

Beobachtungen haben gezeigt, dass die Evapotranspiration der Wälder während der Trockenzeit, wie durch die Theorie der biotischen Pumpe vorhergesagt, weiterhin auftritt (oder sogar zunimmt); dies wurde jedoch nicht in Rodungsflächen beobachtet.

Ähnliche Daten haben auch gezeigt, dass Wald-Transpiration viel größer ist als durch Modelle bestimmt, was zum Teil die Unterschätzung der Niederschlagsreduktion durch Abholzung in Großmodellen erklärt. Einige Beobachtungsstudien haben in Zusammenhang mit der Abholzung eine Zunahme der lokalen Niederschläge gezeigt. Andererseits wurde anhand von umfassenden Forschungen, Simulationen mit Klimamodellen und theoretischen Analysen gezeigt, dass es sich hierbei um lokale und vergängliche Wirkungen handelt, die grundsätzlich von der Existenz von Wäldern rund um den abgeholzten

Flächen und deren Ausdehnung abhängig sind. Der Anstieg der Niederschlagsmenge wird zu einem Rückgang, sobald die überlebenden Waldgebiete eine bestimmte Abstandsschwelle zur abgeholzten Fläche überschreiten. Von da an nimmt der Niederschlag ab.

Satelliten-Daten zu Regen und über das Vorhandensein von Wald haben einen Rückgang der Niederschläge in Windrichtung der abgeholzten Flächen gezeigt.

Forschungen von Spracklen et al.⁶⁵ mit Hilfe von Satelliten-Daten zur Niederschlags-Bestimmung und der Existenz von Wald zeigten: dort wo Abholzung stattgefunden hat, ist eine Abnahme der Niederschläge in Windrichtung zu beobachten. In 60% der Tropen produziert die Luft, die über dichte Wälder zieht, mindestens doppelt so viel Niederschlag wie die Luft über abgeholzten Flächen. Obwohl diese Autoren noch nicht die Mechanismen und Wirkungen der biotischen Pumpen-Theorie berücksichtigt hatten, haben sie starke Hinweise zu den negativen Auswirkungen von Abholzung auf das Klima geliefert, die nicht nur lokal, sondern auch in nahen und auch weiter entfernten Regionen beobachtet werden.

Makarieva et al. relativieren die Ergebnisse von Spracklen durch die Anwendung des Konzepts der biotischen Pumpe und erklärten quantitativ, welche physikalischen Faktoren für den Rückgang der Regenfälle in Windrichtung der abgeholzten Flächen verantwortlich sind. Sie stellten fest, dass diese Abnahme der Niederschlagsmenge erheblich größer ist, als von Spracklens Gruppe⁶⁶ angezeigt wurde. In dem am meisten abgeholzten Teil Amazoniens gibt es bereits eine progressive Verzögerung des Beginns der Regenzeit, was tiefgreifende Auswirkungen auf den Agrarsektor hat.

In dem am meisten abgeholzten Teil Amazoniens gibt es bereits eine progressive Verzögerung des Beginns der Regenzeit, was tiefgreifende Auswirkungen auf den Agrarsektor hat.

So werden in der Diskussion über die Abholzung keine Zweifel mehr bezüglich der direkten oder indirekten Auswirkungen auf die Abnahme der Niederschläge erhoben. Man beschäftigt sich

vielmehr mit der Frage des tatsächlichen Ausmaßes der Abholzung. In den Jahren 2011/2012 wurden im brasilianischen Amazonas „nur“ 4.571 km² abgeholzt. Verglichen mit der Abholzungsrate in Spitzenjahren wie 2004 (27.772 km²), scheint dies ein bescheidener Wert. Brasilien verdient Anerkennung dafür, dass diese Reduktion erreicht wurde. Die Geschwindigkeit und Effizienz, mit der Brasilien diese Abnahme in der Abholzungsrate erreicht hat, legt nahe, dass die angewandte Strategie genutzt werden sollte, um weitere Abholzungen in Brasilien und weltweit zu verringern und ganz aufzuhalten.

Trotz dieser ermutigenden Nachrichten würde diese scheinbar kleine Abholzungsrate ausreichen, um eine Fläche vergleichbar der Fläche Costa Ricas in nur 10 Jahren abzuholzen. Darüber hinaus dämpft eine Reduzierung der jährlichen Abholzung die momentane Wahrnehmung vom Verlust und versteckt die kumulierte Abholzung des Amazonas, die sehr ernst zu nehmen ist.

Im Hinblick auf das Klima zählt vor allem die Gesamtfläche, die abgeholzt wurde und ihre räumliche Verteilung. Diógenes Alves⁶⁷ berechnete die Gesamt-Abholzung auf Grundlage einer Zusammenstellung von bahnbrechenden Satelliten-Untersuchungen auf 663.000 km² im Jahr 2004. Nach den neuesten Erhebungen des PRODES-Projekts des Nationalen Instituts für Weltraumforschung (INPE), erreichte die kumulierte Gesamt-Abholzung im Jahr 2013 762.979 km²

⁶³ Zum Beispiel: (Gash et al., 1996) Amazonian Deforestation and Climate; (von Randow et al., 2004) Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in southwest Amazonia.

⁶⁴ (Huete et al., 2006) Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season; (Saleska et al. 2007) Amazon forests green-up during 2005 drought.

⁶⁵ (Spracklen et al., 2012) Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests.

⁶⁶ (Makarieva et al., 2013) Why does air passage over forest yield more rain? Examining the coupling between rainfall, pressure and atmospheric moisture content.

⁶⁷ (Alves 2007) Science and technology and sustainable development in Brazilian Amazon.



Aus der Perspektive der Klimaschädigung ist das, was in Amazonien passiert, eine gigantische Zerstörung des *Grünen-Ozean* Regenwalds. Es gibt also keinen Grund, die relativ niedrigen Kahlschlag-Raten in den letzten Jahren zu feiern, vor allem seitdem das neue Waldgesetz von 2011 mit seiner umfassenden Amnestie für all diejenigen, die abgeholzt haben, in Kraft getreten ist. Es lässt sich bereits eine klare Tendenz zu weiter steigenden Abholzungs-Jahresraten beobachten.

Aufgrund von Berechnungen des INPE erreichte der Kahlschlag (ohne Berücksichtigung anderer Länder, die dem Amazonas-Becken angehören) einen Umfang von 18,85% der ursprünglichen Waldfläche im Jahr 2012⁷⁰. Die Zerstörung ist jedoch nicht einheitlich, da es eine hohe Konzentration von Kahlschlag im sogenannten Feuerbogen (oder Bogen der Abholzung, *Arc of Deforestation*) gibt⁷¹. Wenn das totale „Abrasieren“ ausgedehnter Waldgebiete für das Klima schon ein sehr ernstes Problem darstellt, wird die Lage noch schlimmer, wenn wir auch jene Gebiete des Regenwalds mit in unsere Betrachtungen einbeziehen, die schwer verwundet wurden.

Holzfällungen, allmähliche Abholzung und Feuer erzeugen ausgedehnte Gebiete von degradierten Wäldern, die nur selten in den offiziellen Zählungen der Waldzerstörung enthalten sind. Aber von dem, was wir von den Informationen und Schätzungen, die verfügbar sind ableiten, können diese Bereiche einen erheblichen Einfluss auf das Klima haben.

Dalton Valeriano hat von 2007 bis 2010 eine erste Studie über Land-Degradation⁷² im Bundesstaat Mato Grosso durchgeführt und fand „lediglich“ 7.856 km² kahlgeschlagene Wälder. Es gab aber noch zusätzliche 32.926 km² degradierte Waldflächen. Wenn man Kahlschlag und degradierte Wälder

Kumulative Abholzung: 762.979 km²

Das gesamte abgeholzte Gebiet ist größer als die dreifache Fläche des Bundesstaats São Paulo in Brasilien oder doppelt so groß wie Deutschland oder Japan. Eine Größe, die jeder Brasilianer leicht begreift, ist die eines Fußballplatzes (4.136 m²). Sie gibt uns eine Vorstellung von der entsprechenden Verwüstung: 184 Millionen Fußballfelder⁶⁸, d.h. im Amazonas wurde fast ein Fußballfeld für jeden Brasilianer abgeholzt! Im Zeit-Kontext sind die Zahlen erschütternd: 12.635 Fußballfelder wurden pro Tag abgeholzt, das entspricht 526 pro Stunde, 8,8 Felder oder 36,291 m² pro Minute oder 605 m² pro Sekunde non-stop während der letzten 40 Jahre. Um die Ungeheuerlichkeit dieser Daten zu verstehen, muss man seiner Phantasie anhand dieser Analogien freien Lauf lassen. Ein fiktiver Traktor mit einer 3 m breiten Schaufel müsste nahezu die Geschwindigkeit eines Jet-Flugzeugs (726 km/h) aufbringen, um den Kahlschlag des Amazonas im gleichen Tempo zu betreiben, den die Satellitenbilder aufzeichnen. Da ein Traktor viel langsamer abholzt (0,24 – 0,36 ha/h)⁶⁹ oder etwa 0,8 km/h, wenn das Gebiet auf 3 m weite Streifen beschränkt ist), wären über 900 solche Traktoren nötig, um Seite an Seite den Wald abzuholzen und eine destruktive Front von fast 3 km Breite zu bilden. Ein noch auffälligerer Vergleich ist der einer 2 km breiten „Abholzungs-Straße“ mit einer Länge wie von der Erde bis zum Mond (380.000 km).

zusammenzählt, bleibt sehr wenig von der ursprünglichen Namensgebung „*Mato Grosso*“ übrig, was auf Portugiesisch „Dichter Wald“ bedeutet.

Im gleichen Zeitraum hat INPE 64.205 km² degradierte Wälder und 39.026 km² kahlgeschlagene Wälder im brasilianischen Amazonas kartiert. Unter Anwendung der relativen Proportionen zwischen diesen beiden verschiedenen Regionen, kann der gesamte Anteil des degradierten Waldes im brasilianischen Amazonas extrapoliert werden.

Auf Grund dieser Schätzung betrug die gesamte degradierte Fläche im Jahr 2013 eine Größe von etwa 1.255.100 km². Beim

68 Abgeholzte Fläche = 762,979 km² / 0.004136 km² = 184.472.679 Fußballfelder.

69 (Viana, 2012) *Máquinas e Métodos de Desmatamento* (Maschinen und Methoden der Abholzung).

70 INPE's Schnittstelle der Datenbank zur Überwachung der Abholzung: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Tabelle und Summe der Beträge nach Flächeneinheit, auf Portugiesisch;

71 Prozentualer Anteil der abgeholzten Fläche bis zum Jahr 2012: Bundesstaat Tocantins (TO) 75%, Bundesstaat Maranhão (MA) 72%, Bundesstaat Rondônia (RO) 41%, Bundesstaat Mato Grosso (MT) 40%, Bundesstaat Pará (PA) 22% und Bundesstaat Acre (AC) 13%.

72 PRODES Bericht 2008, pdf: http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf, auf Portugiesisch.

Hinzufügen der gesamten gemessenen Abholzungsflächen dürfte der kumulative Einfluss der menschlichen Besiedlung auf dieses Biom schon 2.018.079 km² erreicht haben.

Unter den 200-plus-Ländern der Welt haben nur 13 eine größere Fläche als die oben angegebene. Diese Schätzung deutet an, dass die degradierten Wälder im brasilianischen Amazonas bereits 29,44% der ursprünglichen Fläche eingenommen haben⁷³. Wenn dies zu der abgeholzten Fläche addiert wird, kann angenommen werden, dass 47,34% des Waldes schon direkt oder indirekt von menschlichen Klima-Destabilisierungs-Aktivitäten beeinflusst wurden. Für die gesamte Pan-Amazonas-Region entspricht dieser aggregierte Effekt zwischen 26,68% und 29,03% der ursprünglichen Waldfläche, wenn man sowohl die Abholzung und die geschätzte Degradation zugrunde legt⁷⁴.

Das betroffene Gebiet kann aus ökologischer Sicht jedoch noch größer sein, weil Wälder, die sich in der Nähe von abgebauten oder abgeholzten Regionen befinden, auf direkte oder indirekte Weise unter den Umweltveränderungen (sowohl biophysikalische als auch biogeochemische) leiden⁷⁵.

Während des Degradierungs-Prozesses wird oftmals über 60% der Vegetationsabdeckung⁷⁶, also des Walddachs zerstört, was die strukturellen, ökologischen und physiologischen Eigenschaften der Wälder verändert und dabei ihre Umweltqualitäten und Fähigkeiten beeinflusst.

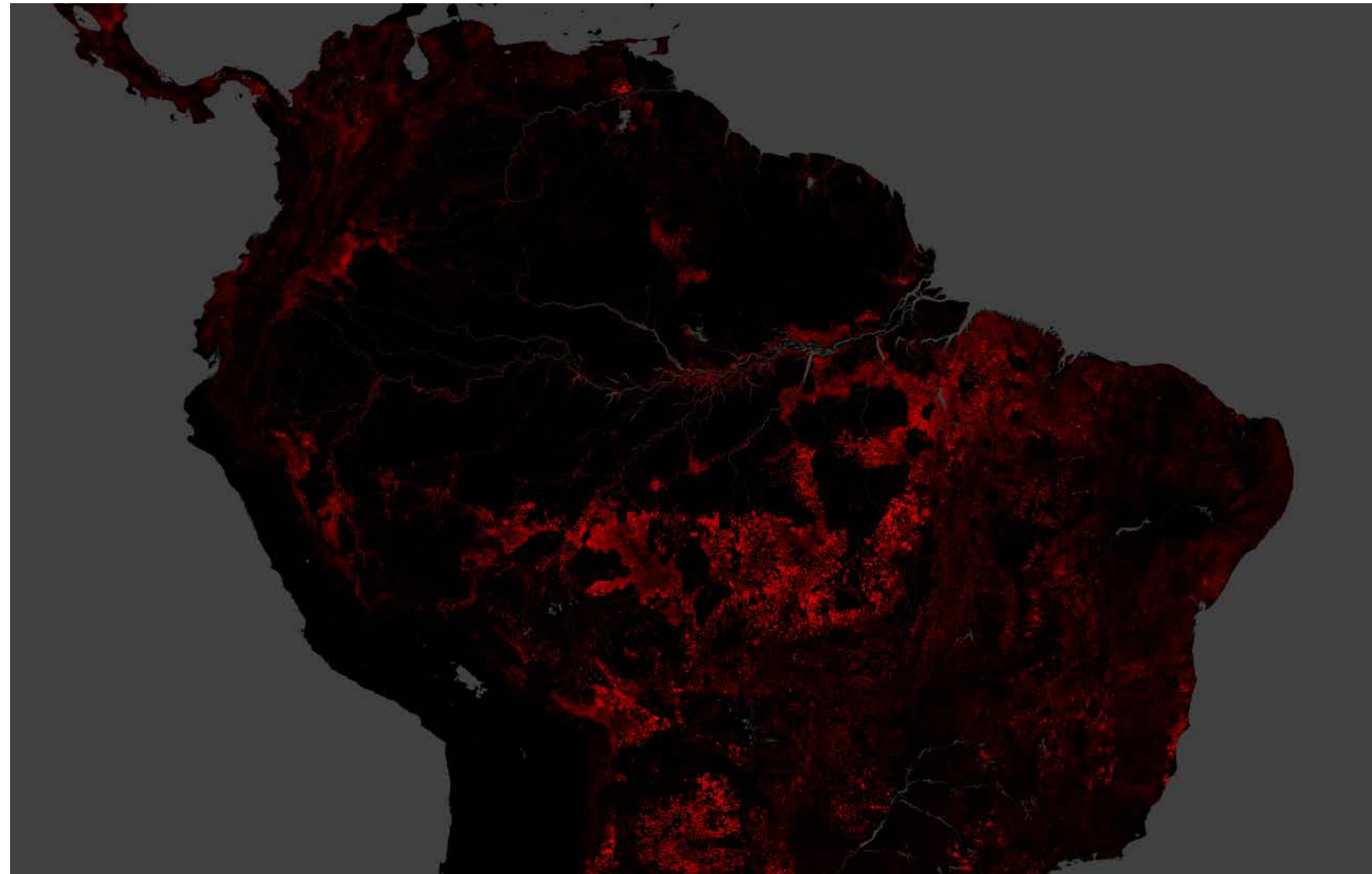


Abbildung 1 Kumulative Abholzung 2000-2010 (Hellrot) und vor diesem Zeitraum (Dunkelrot) in Südamerika⁷⁷.

73 Berechnung unter Berücksichtigung der Messung von Espírito-Santo et al. (2014) vom Restwald im brasilianischen Amazonas [3.500.000 km²] addiert mit der Fläche der kumulativen Abholzung [762.979 km²]; das ergibt 4.262.979 km² des ursprünglichen Waldes im brasilianischen Amazonasgebiet.

74 Auswirkungen unter Berücksichtigung der geschätzten Gesamtfläche des ursprünglichen Waldes (Restwälder + kumulative Abholzung), basierend auf Espírito Santo et al. (2014) mit 7.562.979 km² und Eva et al. (2005) mit 6.943.468 km².

75 (Laurance & Williamson, 2001) Positive Feedbacks among Forest Fragmentation, Drought, and Climate Change in the Amazon.

76 (Valeriano et al., 2008) *Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites*. (Überwachung der Amazonas-Regenwald-Abdeckung mit Satelliten-Daten): Systeme **PRODES**: (Überwachung des brasilianischen Amazonas-Regenwalds mit Satellitendaten): <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>; **DETER**: (Nachweis von Abholzung in Echtzeit) <http://www.obt.inpe.br/deter/>; **DEGRAD**: (Kartierung der Waldschädigung im brasilianischen Amazonas): <http://www.obt.inpe.br/deggrad/>; und **QUEIMADAS**: (Überwachung der Brände nahezu in Echtzeit): <http://www.inpe.br/queimadas/>, alle Links auf Portugiesisch.

77 **University of Maryland Global Forest Cover**: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>, auf Englisch.



3) Die Achillesferse Amazoniens: der unbesiegbare Held fällt

Der Wald hat Vulkanismus, Vereisungen, Meteore und die Kontinentalverschiebung während mehr als 50 Millionen Jahren überlebt. Aber jetzt wird er in weniger als 50 Jahren ausschließlich von den Aktionen des Menschen bedroht. Es gibt eine Parallele zwischen der griechischen Sage der Achillesferse und der Bedeutung des großen Amazonas-Regenwalds für das Klima der Erde. Wie die griechischen Helden, kann man sich den Amazonas als eine massive Ansammlung von außergewöhnlichen Lebewesen vorstellen, die sicherlich über einige angeborene Kapazitäten verfügen müssen, die ihn zu einem unsiegbaren Krieger über vielen Millionen von Jahren gemacht haben und der geophysikalische Katastrophen überlebte, die unseren Planeten von Zeit zu Zeit verwüsteten.

Untersuchungen zeigten, dass der Wald eine große Macht über die Elemente besitzt, angefangen von seiner atmosphärischen Befeuchtung durch die Wolken-Keimbildung bis hin zu der biotischen Pumpe. Alles deutet daraufhin, dass es sich hierbei um ausgefeilte Mechanismen der Unbesiegbarkeit handelt. Also wo liegt dann der Schwachpunkt in diesem System?

Die Antwort ist verbunden mit der Degradation und der Abholzung.

Weil der große Regenwald eine Schlüsselrolle bei Leistungen für die Stabilität des lokalen, regionalen und globalen Klimas spielt, bedeutet seine physische Störung, dass der „große Krieger“ eine Niederlage in dieser Rolle erleidet, ähnlich der Ruptur der Achillessehne, wodurch er den Krieg verliert. In

diesem Fall sind die Pfeile des Feindes Kettensägen, Bulldozer, Feuer, Rauch, Ruß und andere Faktoren, verbunden mit menschlichen Tätigkeiten, die aus falschen, unkontrollierten und fürchterlichen Anwendungen von Erfindungen im Anthropozän⁷⁸ resultieren, der neuen Ära, in der die Menschheit sich zu einer geologischen Kraft entwickelt hat, die in der Lage ist, das Gesicht des Planeten zu ändern.

3.1) *Point of no return*: der Fehltritt in den Abgrund

Denkt man an die Metapher eines Fahrzeugs (der große Wald), das sich entlang einer holprigen Straße (Klima) mit flexiblen Reifen bewegt, die die Wirkungen der Schlaglöcher absorbieren und abfedern (Öko-Klimabeständigkeit), wie tief müsste dann das *Klima-Loch* sein, um die Reifen des *Grünen Ozean* Amazonien platzen zu lassen?

Der intakte Grüne Ozean hat viele Ressourcen, um die Effekte von Dürren zu absorbieren und kann sich nach mehreren Jahren vollständig regenerieren.

Die Auswirkungen der schwersten Dürre seit einem Jahrhundert wurden im Jahr 2005 spürbar. Fünf Jahre später waren die

Folgen der Dürre von 2010 viel

größer und noch umfangreicher⁷⁹. Im Jahr 2010 wurden zum ersten Mal auf Felsen unter dem Rio Negro Höhlenmalereien entdeckt. Diese Gemälde entstanden während der Eiszeit vor Tausenden von Jahren, als der Meeresspiegel 100 Meter tiefer lag als heute. Die physikalischen Erklärungen für diese beiden Mega-Events blieben nicht eindeutig. Doch zahlreiche Beobachtungen⁸⁰, sowohl vom Land als auch aus dem Weltraum, lassen keinen Zweifel über die Schäden und Verluste aufkommen, die der Wald ertragen hat⁸¹. Diese Befunde

⁷⁸ **Anthropocen, ein von der Menschheit transformierter Planet:** <http://www.anthropocene.info/en/anthropocene>, auf Englisch.

⁷⁹ (Marengo et al., 2011) The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region.

⁸⁰ Zum Beispiel: (Brando et al., 2014) Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions; (Saatchi et al., 2013) Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy; (Fu et al., 2013) Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection; (Marengo et al., 2013) Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation; (Phillips et al., 2009) Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest; (Cox et al., 2008) Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution; (Hutyr et al., 2005) Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazonia.

⁸¹ (Nepstad et al. 1999) Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. Zum Beispiel: umfangreiche Baumsterblichkeit, die beachtliche Veränderungen der Vegetationsstruktur zur Folge haben, und die normalen Regenerationsmechanismen in Lichtungen abbrechen.

zeigen, dass der „Amazonien-Reifen“ als Folge der erlittenen Schläge bereits Anzeichen von Ermüdung oder zumindest erhebliche Narben aufweist.

Unter stabilen grünen Ozean-Bedingungen hat der Wald ein breites Repertoire an ökophysiologischen Antworten, um die Auswirkungen solcher Trockenzeiten⁸² zu absorbieren, und um sich im Lauf der Jahre komplett zu regenerieren. Man kann jedoch in weiten Bereichen Amazoniens, vor allem entlang des sog. „Abholzungsbogens“ (*Arc of Deforestation*), ein „Multiorganversagen“ in Wald-Fragmenten wie auch in weniger fragmentierten Bereichen feststellen⁸³.

Durch mehrere schädliche Faktoren kombiniert mit dem externen Druck, verursachen Dürren mehr Schäden als sonst, und beeinträchtigen dadurch die Fähigkeit des Waldes, sich selbst zu regenerieren. Der erste und wichtigste unter diesen Faktoren ist die Abholzung an sich. Mit den Bäumen verschwinden alle Dienste, die der Wald für das Klima vorsieht, was Auswirkungen auf den verbleibenden Wald hat. Die Vernichtung des Waldes stört die biotische Luftfeuchtigkeitpumpe und schwächt seine Fähigkeit, feuchte Luft, die Regen erzeugt, in die Region zu importieren. Wenn der Wald durch Verbrennen entfernt wird, verursachen Rauch und Ruß den Zusammenbruch der Mechanismen der Wolken-Keimbildung und führen zu verschmutzten Wolken, die sich auflösen ohne Regen zu erzeugen⁸⁴.

Abholzung stört den Mechanismus der Regenfälle. Ohne Regen wird der Wald entzündbar. Feuer entsteht im Wald, es brennen oberflächliche Wurzeln und große Bäume werden getötet.

Der ursprüngliche Zustand des Regenwaldbodens ist auch während der „Trockenzeit“ zu feucht, um zu brennen. Wenn jedoch aus welchen Grund

auch immer keine Niederschläge in der Trockenzeit fallen – was zwar selten passiert, aber immer häufiger vorkommt – trocknen die organischen Stoffe auf dem Waldboden bis zu dem Punkt aus, an dem sie entzündbar werden. Feuer durchdringt den Wald, brennt die oberflächlichen Wurzeln ab und tötet große Bäume⁸⁵. All diese Abholzungs-Nebenwirkungen werden maximiert und die Armeen der menschlichen Feinde schlagen schnell auf die gefährdete Ferse des Kriegers ein. Wann wird der Wald für immer fallen? Verschiedene Untersuchungen liefern die Antwort auf die Frage, wann der sogenannte „Point of no return“ erreicht⁸⁶ wird.

Der Punkt ohne Rückkehr ist der Beginn einer Kettenreaktion, wie bei einer Dominosteinreihe. Fällt der erste Stein, fallen alle anderen auch. Sobald das lebende System im Wald brutal und irreparabel aus dem Gleichgewicht geschlagen wird, wird es sich letztendlich auf einen anderen Gleichgewichtszustand umstellen.

3.2) Savannen- und Wüstenbildung: umfangreiche oder undenkbbare Schäden?

Durch Dürren, Bränden und Waldschädigung ist die Savanne gegenüber dem Wald in einem neuen Klimagleichgewicht begünstigt.

Ein stabiles Gleichgewicht ist ein Zustand, ähnlich dem einer Kugel in einer Schale, die unter normalen Bedingungen, immer in Richtung der tiefsten Stelle des Behälters kreist. Mit zunehmender Schwingung der Schale bewegt sich die Kugel immer näher an die Rändern. Wenn die Bewegungen so kräftig werden, dass sie die Kugel über den Rand treiben, springt sie heraus und verlässt die Schale zurück, um in einen neuen Gleichgewichtszustand überzugehen.



⁸² (Phillips et al., 2010) Drought-mortality relationships for tropical forests.

⁸³ (Laurance & Williamson, 2001) Positive Feedbacks among Forest Fragmentation, Drought, and Climate Change in the Amazon.

⁸⁴ (Andreae et al., 2004) Smoking rain clouds over the Amazon.

⁸⁵ (Nepstad et al., 2004) Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis.

⁸⁶ Zum Beispiel: (Nobre and Borma, 2009) "Tipping points" for the Amazon forest.

Im Jahr 2003 haben Marcos Oyama und Carlos Nobre in einer Modellstudie anhand eines globalen Zirkulationsmodells (GCM) und einem Vegetations-Gleichgewicht-Modell⁸⁷ die mögliche Savannenbildung in Amazonien als Hypothese thematisiert. Klima und Vegetation interagieren. Wenn ein Parameter geändert wird, neigt der andere dazu, sich über eine positive (Destabilisierung) oder negative (Stabilisierung) Wechselwirkung zu ändern, bis ein neues Gleichgewicht erreicht wird.

Klima und Vegetation in Amazoniens *Grünen Ozean* sind unter feuchten Bedingungen in einem stabilen und elastischen Gleichgewicht. Mit der Abholzung wird allmählich das Klima verändert und destabilisiert, bis es einen Punkt ohne Wiederkehr (der Rand der feuchten Schale) erreicht. Das System kann dann mit einem Sprung in einen anderen Zustand des Gleichgewichts gelangen, der aber viel trockener ist.

Dieser Studie zufolge gibt es zwei mögliche Gleichgewichtszustände für die Vegetation im Amazonas. Einer entspricht der aktuellen Verteilung der Vegetation, wobei der Regenwald den größten Teil des Beckens bedeckt. Der andere ist ein Zustand, in dem der Regenwald im östlichen Amazonas durch Savanne ersetzt wird. Mit fortschreitender Dürre, durch Feuer und andere große Veränderungen im Wald entsteht ein neues Klimagleichgewicht, das die Savanne zu Lasten des Waldes begünstigt. In diesem zweiten Gleichgewichtszustand werden selbst Überreste von Bereichen mit unberührten Wäldern verschwinden und Savannen entstehen.

Nach dieser Hypothese reicht der bloße Schutz des noch stehenden Waldes nicht mehr aus, um den späteren kompletten Niedergang aufgrund des Klimawandels infolge der neuen Gleichgewichtsbedingungen zu verhindern.

Diese Perspektive wirft ein neues Licht auf die Politik, die ausschließlich auf den Erhalt der ausgewiesenen Naturschutzgebiete ausgerichtet ist.

Diese Hochrechnungen geben in der Regel Szenarien mit einem relativ bescheidenen Rückgang der Regenfälle an und gehen immer davon aus, dass sich die Windrichtung nach dem Verschwinden des Waldes nicht viel ändern wird. In diesem Szenario würden die Passatwinde weiterhin Feuchtigkeit vom Ozean ins Binnenland bringen; nur ein bestimmter vertikaler Austausch über dem Amazonas würde sich ändern.

Die Theorie der biotischen Pumpe, die erklärt, wie die Windstärke auf die Bildung von Kondensation wirkt, prognostiziert, dass eine signifikante Abnahme der Verdampfung/Kondensation an Land zu einer tiefgreifenden Verringerung der Luft-Konvergenz über dem Kontinent führt und mit einer radikalen Abnahme des Nettofeuchtigkeitstransports oder sogar mit seiner möglichen Umkehr assoziiert ist. Wir könnten diese Land-Meer-Beziehung mit einem Tauziehen vergleichen: die Seite, auf der es mehr atmosphärische Kondensation gibt, wird den Kampf gewinnen und Feuchtigkeit zu sich ziehen. Da es sich um die Winde handelt, die aufgrund der Existenz des Waldes Feuchtigkeit vom Meer ins Land bringen, könnte die atmosphärische Luft ohne den Wald nicht mehr über dem Land konvergieren, was zu einem kompletten Ausfall der Niederschläge in der Region führen würde. Null Niederschlag würde zur Bildung einer Wüste und nicht zu einer Savanne führen.


Das Savannen-Szenario, das von Oyama und Nobre's Modell (und später durch andere Studien weiter detailliert)⁸⁸ prognostiziert wurde, wäre aufgrund der Vernichtung des reinen Schatzes der biologischen Vielfalt der Wälder schon schlimm

genug. Allerdings hätte die Landwirtschaft durch den Niederschlag in der Savanne eine gewisse Chance, weiterhin lebensfähig zu bleiben. Doch die von der progressiven Abholzung entstehende Wüstenbildung, wie sie durch die Theorie der biotischen Pumpe vorhergesagt wird, würde alles vernichten und auch die meisten menschlichen Tätigkeiten im Amazonas unmöglich machen.

Und über Amazonien hinaus? Da das meiste Wasser, das das „Brotkorb“-Viereck des südlichen Südamerika bewässert, aus dem Amazonas stammt, kann das zukünftige Klima des Kontinents erheblich trockener werden. Im schlimmsten Szenario würde es dem heutigen Australien ähneln: eine weite Wüste im Innern, die in Meeresnähe auf einer Seite mit Streifen feuchterer Gebiete umgeben ist.

87 Unter Anwendung derselben Vegetations-Klassen des SSiB. (Oyama and Nobre, 2003) A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America.

88 Zum Beispiel: (Malhi et al., 2009) Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest.



4) Das zukünftige Klima Amazoniens: es ist schon da

Der Klimawandel hat im Amazonas-Gebiet und darüber hinaus bereits begonnen. Doch ob Weltuntergangsszenarien eintreten oder nicht, und wie lange es dauern wird, um einen solchen Tiefpunkt zu erreichen, hängt von vielen unvorhersehbaren Faktoren ab, darunter auch, wieviel und in welchem Umfang von der ursprünglichen Vegetation verändert wird.

Mit der Beschleunigung der Abholzung und dem Überschreiten des „Punkts ohne Wiederkehr“ – ein Zeitpunkt, der unangenehm nah zu sein scheint – werden vermutlich nur ein paar Jahrzehnte erforderlich sein, bevor das Klima auf einen anderen Gleichgewichtszustand wechselt⁸⁹.

Wenn die Abholzung gestoppt wird und die Regeneration des Waldes beginnt, könnte die unmittelbare Bedrohung auf eine fernere Zukunft verschoben werden. Aber das alles hängt sowohl vom Ausmaß des verbleibenden Grünen Ozean Regenwalds als auch von der Größe der äußeren klimatischen Kräfte ab.

Die menschliche Besiedlung des Amazonas hat einen undenkbaren Wettkampf ausgelöst, bei dem zwei ruchlose Einflüsse – die Abholzung und der globale Klimawandel – miteinander um den ersten Platz auf dem Podium zur Orchestrierung der endgültigen Zerstörung des größten und artenreichsten Regenwalds auf der Erde⁹² konkurrieren.

Der ungestörte Grüne Ozean hat angeborene Fähigkeiten, um äußeren Klimaauswirkungen zu widerstehen, wie z. B. Niederschlagsschwankungen.

Jahren haben die meisten Klimamodelle ein gewisses Maß

Der ungestörte Regenwald hat angeborene Fähigkeiten, um externen Klimafolgen wie Niederschlagsschwankungen standzuhalten. In den letzten zehn

an Widerstandsfähigkeit des Waldes bekommen, gegenüber den Effekten der globalen Erwärmung. Dennoch besteht eine gewisse Unsicherheit in Bezug auf den tatsächlichen Widerstand der tropischen Regenwälder gegenüber den menschlichen Aktivitäten. Das macht es schwierig, allein aufgrund von

Mangel an Regen: die tödliche Bedrohung für den Amazonas.

Im Jahr 2000 haben Peter Cox et al. vom Hadley Centre in der Zeitschrift *Nature* einen alarmierenden Artikel veröffentlicht⁹⁰. Zum ersten Mal kombinierten die Autoren ein allgemeines Modell der atmosphärischen Zirkulation mit einem interaktiven Modell, das einen detaillierten Kohlenstoff-Kreislauf enthielt. Ein Ergebnis des Modells zeigte die scharfe, fortschreitende und dauerhafte Abnahme der Niederschläge im Amazonas, die zu zum allmählichen Tod des Waldes führt. Mit dem Austrocknen des Waldes würde dieser leichter Opfer von Feuersbrünsten werden und in der Folge große Mengen an Kohlenstoff freisetzen, was zu einer starken Verschlechterung der globalen Erwärmung führen würde. Zum ersten Mal prognostizierte ein Klimamodell ein solch schreckliches Schicksal für den großen Regenwald. Vierzehn Jahre später ähnelt das neue Hadley Centre Modell anderen Modellen. Es unterdrückt nicht mehr wie bisher den Wald aufgrund äußerer Effekte⁹¹. Dennoch beeinflussen die Auswirkungen des ursprünglichen Hadley Centre Modells den Wald durch verminderte Regenfälle als direkte Folge des übermäßigen CO₂ in der Atmosphäre und die daraus resultierende Erwärmung. Fehler bezüglich der Niederschlagsvorhersage von Klimamodellen sind durchaus möglich. Aber genau diese reduzierten Niederschlagsmengen sind die größte Bedrohung für den Wald. Sollten diese Modelle den Rückgang der Regenfälle nicht richtig vorhersagen können, übersehen sie die Gefährdung des Waldes. Weil keines der aktuellen Klimamodelle die Mechanismen und Folgen der Theorie der biotischen Pumpe zur atmosphärischen Luftfeuchtigkeit, besonders bezogen auf mögliche Auswirkungen der Änderungen der Windzirkulation (unterdrückt groß angelegte Konvergenz über trockenem Land), integriert, können ihre Voraussagen ungenau sein. Vielleicht werden wir zukünftig entdecken, dass das ursprüngliche Modell des Hadley Centres das einzige war, welches das zukünftige Klima Amazoniens vorhersagen konnte, wenn auch möglicherweise nicht auf Basis der tatsächlichen Ursachen.

⁸⁹ (Coe et al., 2013) Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south-southeastern Amazonia.

⁹⁰ (Cox et al., 2000) Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model.

⁹¹ (Good et al., 2013) Comparing Tropical Forest Projections from Two Generations of Hadley Centre Earth System Models, HadGEM2-ES and HadCM3LC.

⁹² (Malhi et al, 2008) Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon.

Modellsimulationen einen festen Termin für die vollständige und vollkommene Zerstörung des Waldes auszumachen.

Einfach gesagt und ohne Berücksichtigung der schwächenden Auswirkungen der Waldschädigung kann die bekannte Geschichte der Abholzung in etwa so dargestellt werden: Circa 20% der Waldfläche des brasilianischen Amazonas wurden in den letzten 40 Jahren vernichtet, was bereits signifikante Wirkungen auf das Klima hat. Wenn wir weitere 40 Jahre in die Zukunft blicken und eine Entwaldung von weiteren 20% annehmen, kommen wir auf insgesamt 40% kumulierten Wald-Kahlschlags und erreichen jene kritische Schwelle, die von Klima-Modellen⁹³ genannt wird. In Verbindung mit den Auswirkungen von Feuer, Waldzerstörung und Klimawandel, wird das Eintreten des zu erwartenden Szenarios noch früher stattfinden.

Trotz der Tatsache, dass Klimamodelle nützlich sind und fundierte Hochrechnungen ermöglichen, sind vergangene Klimate für eine Vorhersage der Zukunft möglicherweise keine solide Basis. Insbesondere dann, wenn es sich um komplexe Systeme handelt, und wenn das Klimagleichgewicht in der Nähe des „Schalenrands“ liegt, und bereit zum Umspringen in einen anderen Gleichgewichtszustand ist. Wir werden darüber erst in Zukunft Gewissheit erlangen. Aber es wäre von uns unverantwortlich, einfach still sitzen zu bleiben und abzuwarten.

Anthropogene Störungen, die bereits umfangreich geschehen und sehr wahrscheinlich exzessiv sind, stellen die unvorhersehbarsten Faktoren der Darstellung des endgültigen Schicksals des Amazonas dar. Der einfache Grund dafür ist der freie Wille des Menschen. Wenn wir uns entscheiden, im „business as usual“-Modus weiterzumachen, und vor allem, wenn wir den Schaden, der dem großen Wald zugefügt

Das zukünftige Klima Amazoniens ist bereits eingetroffen. Es ist unsere Aufgabe, die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse sinnvoll zu nutzen.

deren Erreichen Klimamodelle ein rasch nahendes Zusammenbrechen des derzeitigen Klimasystems erwarten, nähern sich schnell ihrer Realisierung. Klimaeffekte, im lokalen als auch im regionalen Maßstab, werden viel früher als erwartet, beobachtet, insbesondere in den am stärksten verwüsteten Gebieten, aber auch in abgelegenen Regionen, die von den Niederschlagsmenge im Wald abgängig sind⁹⁴.

Die grenzenlose Abholzungs-Orgie hat verdeutlicht, dass das Klima ein Richter ist, der sehr gut weiß, wie man Bäume zählen kann, und der weder vergisst noch verzeiht.

Aufgrund der beobachteten Veränderungen ist das zukünftige Klima Amazoniens bereits erreicht. Dringende und bereits verspätete Entscheidungen sowie verstärkende Sofortmaßnahmen zu ihrer Unterstützung dürfen nicht mehr aufgeschoben werden, falls es noch eine Chance zur Umkehr der bedrohlichen Situation geben sollte. Investitionen in die wissenschaftliche Forschung mit Schwerpunkt auf den Amazonas haben bis heute reichliche, begründete und leicht zugängliche Informationen zu Verfügung gestellt. Es liegt in unserer Verantwortung, dieses Wissen für einen guten Zweck einzusetzen.

4.1) Die Wechselseitigkeit des Klimas: Die kumulative Abholzung präsentiert sofort die Rechnung

Mit einer signifikanten und historischen Abnahme der jährlichen Abholzung, ist Brasilien ein Beispiel für ein Land, das einen Teil seiner Hausaufgaben in Bezug auf den Klimawandel gemacht hat. Für eine Nation, die 40 Jahre damit verbracht

wurde, nicht reparieren, besagt die Theorie, dass das ganze Amazonas-System in weniger als 40 Jahren zusammenbrechen könnte. Abholzungsgrenzwerte, bei



⁹³ (Sampaio et al., 2007) Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion.

⁹⁴ (Sampaio et al., 2007).



hat, viel in Umweltfehltritte zu investieren und ihre eigenen Waldschutzgesetze verletzt hat, ist eine Verringerung der Abholzung keine Kleinigkeit. Aber der Rückgang der jährlichen Abholzung, die sehrwohl von wesentlicher Bedeutung ist, ist vergleichbar mit der Hand, die versucht ein Loch auf der Unterseite eines Schlauchboots (Klima) zu schließen, wo seit über 40 Jahren das Wasser eindringt (Abholzung), weil das Boot zu sinken droht. Die grenzenlose Abholzungs-Orgie hat verdeutlicht, dass das Klima ein Richter ist, der sehr gut weiß, wie man Bäume zählt, und der weder vergisst noch verzeiht.

Die zukünftige Abholzung oder wieviel des verbleibenden Waldes wir noch abholzen können, ist der typische Diskussionsschwerpunkt in Bezug auf das zukünftige Klima Amazoniens. Bei solchen Diskussionen werden ungerechtfertigterweise die alpträumenhaften Ausmaße der kumulativen Abholzung der Vergangenheit nicht in Betracht gezogen. Sie gehören jedoch ins Rampenlicht, weil die wichtigsten Aspekte der Klima-Korrelation direkt an diese vergangenen Aktivitäten geknüpft sind. Ohne auf die vergangenen Verwüstungen einzugehen werden die Albträume zurückkommen, um uns zu verfolgen.

Der Regenwald produziert im Tagesdurchschnitt etwa 4 mm Transpirationswasser⁹⁵, was 4 Liter/m² entspricht. Er ist also ein großzügiger Spender für ein günstiges Klima. Sobald der Wald durch Weiden ersetzt wird, sinkt die Transpiration auf 1 mm, (wenn es überhaupt regnet)⁹⁹ oder, im Falle von Aridifizierung auf sogar noch weniger.

⁹⁵ Durchschnittliche Anzahl von Bäumen (Brusthöhendurchmesser > 10cm) in Amazonien (*sensu latissimo* Eva et al, 2005. A proposal for defining the geographical Boundaries of Amazônia) = 555 (±114) /ha, bzw., 55.500 (±11.400) Bäume/km² (Feldpausch et al., 2011, Height-diameter allometry of tropical forest trees); Gesamtfläche von geschlossenen Baumkronen in Amazonien im Jahr 2004 = 6.280.468 km² (Eva et al, 2005, einschließlich der nassen, trockenen und überfluteten Wälder); vormalig mit Wald bedecktes Gebiet (Waldgebiet im Jahr 2004 plus Abholzung bis 2004 (Alves 2007) = 6.943.468 km² (kann höher sein, wenn das außerhalb Brasiliens abgeholzte Gebiet mitberücksichtigt wird); Gesamt geschätztes Minimum an Bäumen des Amazonien-Bioms: 385.362.474.000 (± 79.155.535.200).

⁹⁶ Durch Kahlschlag 762.979 km² der Originalabdeckung „abasiert“ (nur in Brasilien); geschätzte Bäume durch Kahlschlag entfernt = 42.345.334.500 (± 8.697.960.600); geschätzte abgeholzte Bäume = 42.345.334.500 (±8.697.960.600).

⁹⁷ Zeitlicher Rhythmus der Abholzung: 42.345.334.500 (± 8.697.960.600) Bäume in 40 Jahren; 1.058.633.363 (± 217.449.015) Bäume pro Jahr; 2.900.365 (± 595.750) Bäume pro Tag; 120,848 (± 24,823) Bäume pro Stunde; 2,014 (± 413) Bäume pro Minute; 33,5 (± 6,9) Bäume pro Sekunde.

⁹⁸ (von Randow et al., 2013) Inter-annual variability of carbon and water fluxes in Amazonian forest, Cerrado and pasture sites, as simulated by terrestrial biosphere models. (Marengo, 2004) Characteristics and spatiotemporal variability of the Amazon River Basin Water Budget.

⁹⁹ (Hodnett et al., 1996) Comparisons of long-term soil water storage behavior under pasture and forest in three areas of Amazonia.

Baum-Guillotine

Es wird geschätzt, dass das Amazonas-Biom 400 oder mehr Milliarden Bäume mit einem Durchmesser in Brusthöhe von mehr als 10 cm⁹⁵ umfasst. Aus der Berechnung der Populationsverteilung von Bäumen ergibt sich die Annahme, dass der Kahlschlag von Bäumen mit einer durchschnittlichen Höhe von 15 m, in den letzten 40 Jahren allein in Brasilien insgesamt über 42 Milliarden Bäume zerstört hat⁹⁶. Aufgereiht würden die Stämme dieser Bäume eine Länge von 635 Millionen Kilometer ergeben, oder fast die 1.700-fache Entfernung zwischen Erde und Mond abdecken. Diese durchschnittliche Zerstörungs-Rate bedeutet, dass mehr als 1 Milliarde Bäume pro Jahr gefällt werden, mehr als 120.000 pro Stunde, d.h. fast 3 Millionen pro Tag, mehr als 2.000 pro Minute oder 34 pro Sekunde⁹⁷! Diese Zahlen beinhalten nicht die potenziell noch größere Anzahl von gefällten Bäumen in den sogenannten degradierten Wäldern. In den letzten vier Jahrzehnten wurden für jeden Menschen auf der Erde fast 6 Bäume im brasilianischen Amazonas zerstört und über 200 für jeden Brasilianer. Das Klima registriert, dass diese Bäume nicht mehr existieren, weil jeder dezimierte Baum, unter seinen vielen Dienstleistungen, weniger Oberflächenverdunstung bedeutet.

Wenn wir Feuer, Rauch und Ruß - mit ihren vernichtenden Auswirkungen auf Wald, Wolken und Regen - dem kochenden Kessel der Ungerechtigkeiten hinzufügen, wird die nur faire Reaktion der Natur auf so viel Zerstörung der Fluch eines unwirtschaftlichen Klimas sein. Das Problem ist, dass die „Strafe“ wahllos jeden treffen wird, nicht nur diejenigen, die abgeholzt und die Abholzung ermutigt haben, sondern auch die große Mehrheit der Menschen, die dagegen waren und sind.

4.2) Reihenfolge der Dringlichkeit: besser spät als nie

Damit wir die wahre Dimension dessen verstehen, was in Bezug auf das zukünftige Klima Amazoniens (und damit in Südamerika) geschehen muss, denken wir uns in ein zukünftiges Szenario hinein, in dem Brasilien von einem mächtigen Feind angegriffen wird, der eine geheime Technologie besitzt, die störende Wellen von einem Satelliten aussendet, um Wolken zu zerstreuen und dadurch den Regenfall zu reduzieren. Nehmen wir an, die feindliche Nation hat kommerzielle Interessen, die durch den Erfolg der brasilianischen Landwirtschaft bedroht sind. Eine Regenvernichtungswaffe könnte verwendet werden, um Pflanzungen in Brasilien zu zerstören, die mit denen des Feindes konkurrieren. Dies würde die entsprechenden internationalen Preise in die Höhe treiben. Wenn der brasilianische Geheimdienst die brasilianischen Landwirte über die Missetaten gegen sie informieren würde, wie würden sie reagieren? Wie wäre die Reaktion der Gesellschaft und der Regierung? Angesichts all der Demütigungen aufgrund einer solchen Missetat müssen wir keine Hellseher sein, um uns vorzustellen, dass die Reaktion darauf sofort kommen und schlagkräftig ausfallen würde.

Das Vernichten der Wälder ist nicht nur eine Niederlage für die Landwirtschaft. Wassermangel (oder Wasserüberschuss) beeinträchtigt auch die Energieproduktion, die Industrie und das Leben in der Stadt.

Landes. In einem unerklärten Krieg, der nun schon seit 40 Jahren andauert, haben Hunderttausende Menschen aus eigener Initiative die Vernichtung der Wälder vorangetrieben.

Die Zerstörung der Regenwälder bedroht sowohl den Niederschlag als auch das Klima und schadet nicht nur der Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft, sondern ein Mangel (oder der Überschuss) an Wasser wird auch die Energieproduktion, die Industrie, die städtische Wasserversorgung und das Leben in den Städten im Allgemeinen beeinträchtigen. Doch im Gegensatz zu Europa und den USA während des Zweiten Weltkriegs waren und sind unsere Reaktionen angesichts dieser Angriffe auf den Wald minimal und wir lassen zu, dass sie von Jahr zu Jahr weiter unsere wunderschöne Wiege, die Quelle unseres Seins zerstören¹⁰⁰. Wer sind diese Menschen, die eine solche Bedrohung für Brasiliens Wohlbefinden darstellen? Warum ist die Gesellschaft bisher dagegen nicht aufgestanden? Warum wurde die brasilianische Armee nicht mobilisiert, um die Nation zu verteidigen?

Um die Schwere der Situation, in der wir uns befinden, zu bewältigen, brauchen wir eine Kampagne, einem Kriegseinsatz gleich, die aber nicht in Richtung eines Konflikts ausarten soll. Die erste dringende Angriffslinie muss ein „Krieg“ gegen die Unwissenheit sein. Eine bisher beispiellose Anstrengung, um die Gesellschaft im Allgemeinen aufzuklären. Das zielt vor allem auf diejenigen, die sich noch immer an den Irrglauben klammern, dass die Zerstörung der Wälder harmlos sei. Die Täter sind sowohl diejenigen, die Kettensägen schwingen oder Brände legen. Es sind jene, die den Wald mit von durch Traktoren gezogenen Ketten abreißen, als auch jene, die in der öffentlichen Politik und im Finanzwesen die Kontrolle ausüben und die gesetzgebende und rechtliche Propaganda betreiben, die die Verwüstungs-Kommandos schützen. Allerdings war und ist nur ein kleiner Teil der Gesellschaft direkt an der Zerstörung der Wälder beteiligt. Es ist diese Minderheit, die die Nation in Richtung des Klima-Abgrundes treibt.


Kriegseinsatz

Bei größeren Bedrohungen einer Nation werden die Streitkräfte in Bereitschaft versetzt. Nach dem japanischen Angriff auf Pearl Harbor entschieden die Vereinigten Staaten, dass es nötig sei, in den Zweiten Weltkrieg einzugreifen. Innerhalb weniger Monate war ein „Kriegseinsatz“ aufgebaut. Automobilhersteller begannen Panzer und Kampfflugzeuge zu produzieren, während andere zivile Industrien mit der erforderlichen Produktion von Munition, Waffen, Ausrüstung und anderem Material begannen, dass gebraucht wurde. Diese Kriegsanstrengungen erreichten sogar in Form der Gummi-Soldaten das Amazonas-Gebiet. Ohne eine solche konzentrierte und außergewöhnliche Anstrengung hätten die Alliierten den Krieg nicht gewonnen.

Die Abholzungs-Minderheit ist nicht einheitlich, aber ihre Kultur favorisiert in kurzfristigen Perspektiven eingebundene Interessen ungeachtet der Konsequenzen. Getrieben durch diese kurzfristigen und eng begrenzten Interessenlagen scheinen sie die Tatsache zu ignorieren, dass die Zerstörung der Wälder das Klima in Gefahr bringt. Diese Praxis angesichts der vorliegenden Beweise fortzusetzen, ist einfach nicht zu rechtfertigen. Deshalb ist die systematische Zerstörung des Waldes ein Schuss in den eigenen Fuß. Sie beginnen das zu verstehen. Es gibt eine Chance, dass diese Agenten der Abholzung überzeugt werden können, ihr Verhalten zu ändern. Es gibt Perspektiven und Hoffnungen, dass die Beseitigung der Unwissenheit in Bezug auf die wesentliche Rolle der Wälder bei der Erzeugung eines günstigen Klimas eine Bewegung auslöst und diejenigen, die abgeholzt haben, in Beschützer konvertiert werden können, vielleicht – wer weiß – sogar in Wald-Restauratoren. Es gibt schon viele Beispiele für Konvertierungen wie diese, mit großen Vorteilen für alle Beteiligten¹⁰¹.

¹⁰⁰ Anmerkung des Übersetzers: *“Deitado eternamente em berço esplendido”* [Ewig in einer prächtigen Wiege liegend] ist ein Vers der brasilianischen Nationalhymne.

¹⁰¹ In Projekten wie Lucas do Rio Verde Legal; *Paragominas: De Vilões em mocinhos do desmatamento* [Vom Bösewicht zum guten Jungen der Abholzung]: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-praticas/paragominas-combate-o-desmatamento-e-vira-exemplo-de-sustentabilidade-na-amazonia>; Y Ikatu Xingu: <https://www.socioambiental.org/pt-br/tags/campanha-y-ikatu-xingu>; etc. Alle Links auf Portugiesisch.



5) Wälder der Möglichkeiten: Fünf Schritte zur Erholung des Klimas

Bis wir den Punkt ohne Wiederkehr (Point of no return) erreicht haben, gibt es noch ein paar Gelegenheitsfenster für erholsame Maßnahmen. Es ist jetzt an der Zeit, sich energisch in heilenden Kriegsanstrengungen zu engagieren, um die Klimakatastrophe und die Zerstörung des *Grünen Ozeans* des Amazonas rückgängig zu machen. Mehrere Aufgaben sind zu diesem Zweck zu bewältigen.

5.1) Popularisieren der Forstwissenschaft: Wissen ist Macht

Der Wald: Wer ihn kennt, schützt ihn.

Wald: Wer ihn kennt, schützt ihn. Es ist wichtig, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse in Bezug auf die Rolle des Waldes für ein günstiges Klima und die Verantwortung der Abholzung für ein unwirtliches Klima alle Ebenen der Gesellschaft erreicht und Allgemeinwissen wird. Es sollten alle erdenklichen Anstrengungen unternommen werden, um diese Informationen zu vereinfachen, ohne sie in ihrem Wesen zu verzerren. Man sollte vor allem an die Sensibilität der Menschen appellieren.

5.2) Null Abholzung: seit gestern

Kurzfristig muss die Abholzung gestoppt werden, wenn weitere Klima-Schäden eingeschränkt werden sollen.

Jede Bequemlichkeit und Verzögerung in Bezug auf all diese Zerstörung muss tatkräftig beendet werden. Ein angemessenes Maß an Stringenz in dieser Hinsicht wäre mit der Art und Weise vergleichbar, mit der gegen den Tabakkonsum vorgegangen wurde. Sobald man festgestellt hatte, welche schwerwiegenden Schäden das Rauchen für den Menschen bewirkt und wie hoch die daraus resultierenden wirtschaftlichen Lasten für die Gesellschaft sind, wurde eine Reihe von Maßnahmen

verabschiedet, um vom Rauchen abzuschrecken.

Hinsichtlich der Abholzung in Brasilien hat die Bundesregierung bereits einige Schritte ergriffen, um sowohl Kontroll- als auch Abschreckungsprozesse in Gang zu setzen. Es wurden signifikante Ergebnisse erreicht. Allerdings müssen wir noch viel tiefer graben, um bis zu den tatsächlichen Ursachen des Problems durchzudringen. Die Politik muss handlungsfähiger werden und die Gesellschaft muss sich Störaktionen gegen die Legislative unternehmen, die nach dem neuen brasilianischen Forstgesetz beispielsweise eine Amnestie für diejenigen vorsieht, die abgeholzt haben. Leider haben die Diskussionen um dieses neue Gesetz die Probleme der Landnutzung in Bezug auf das Klima nicht berücksichtigt.

Ausnahmesituationen verlangen Ausnahmemaßnahmen. Es ist immer an der richtigen Zeit, Gesetze zu überprüfen, um sie den heutigen gesellschaftlichen Anforderungen anzupassen. Die an der Abholzung Schuldigen zu bestrafen und sie später durch bürokratische Ineffizienz oder durch den Kongress zu begnadigen, ist das Rezept für einen Fehlschlag.

Weitere Schwachstellen des Kontrollprogramms zur Eindämmung der Abholzung bilden die stimulierenden Effekte der Wirtschafts-Zyklen¹⁰², die wachsenden Anforderungen des Marktes für Holz- und Agrarprodukte, die Gier nach Land und Überträgern, die, ausgelöst durch Straßen-, Damm- und andere Entwicklungsprogramme mit Planungsschwächen, die Invasion und Besetzung der bewaldeten Areale fördern¹⁰³. Damit Abholzung effektiv gestoppt werden kann, was unerlässlich ist, wenn man weitere Schäden am Klima begrenzen möchte, müssen all diese Schlupflöcher im Bewusstsein der

¹⁰² Rodungen können durch Änderungen in der nationalen Wirtschaftspolitik angeregt werden. Höhepunkte der Abholzungen in den Jahren 1995 (29.059 km²) und 2004 (27.130 km²) zum Beispiel entsprachen dem Höhepunkt eines Wirtschaftsbooms.

¹⁰³ (Laurance et al., 2001) The Future of the Brazilian Amazon.

Dringlichkeit des Sachverhalts versiegelt werden, und zwar mit Hilfe einer sich deutlich artikulierenden, strategisch, intelligent und mit langfristiger Perspektive ausgestatteten Mobilisierung der Gesellschaft und ihrer Regierung.

5.3) Schluss mit Feuer, Rauch und Ruß: ruft die Feuerwehr!

Je weniger Quellen von Rauch und Ruß, desto weniger Schäden an Wolken und Regen und desto weniger Schäden am Grünen-Ozean-Regenwald. Alle Formen von Bränden, die aus menschlichen Aktivitäten hervorgehen, müssen ein für alle Mal beendet werden. Feuer in Waldgebieten, Weiden und landwirtschaftlich genutzten Flächen sind, unabhängig von ihrer Nähe zum Amazonas¹⁰⁴, ein ernstes Problem. Je weniger Rauch- und Rußquellen es gibt, desto weniger Schäden ergeben sich bei der Bildung von Wolken und Regen, was wiederum zu weniger Schäden im Grünen-Ozean-Regenwald führt. Angesichts der tief verwurzelten Gewohnheit, Feuer als landwirtschaftliches Werkzeug zum Roden zu benutzen, wird dies keine leichte Aufgabe sein. Sie ist jedoch wesentlich.

Kommen wir zurück auf den Vergleich mit dem Tabak. Jahrzehntlang versteckte die Industrie die Fakten über die Gesundheitsrisiken des Rauchens. Aufwändige Strategien und viele Ressourcen mit wissentlicher Verschleierung wurden in Versuchen verwendet, um die Wissenschaft zu diskreditieren und die Gesellschaft zu verwirren. Doch die Wahrheit hat sich letztendlich durchgesetzt. Etwas, das unmöglich schien, wurde zu einem irreversiblen globalen Trend. Der gleiche Weg könnte gegangen werden, wenn das Legen von Feuer vollständig verboten würde. Es gibt etliche Alternativen zur

Brandrodung die auch zum Vorteil der Produzenten genutzt werden können.

5.4) Die Wiedererlangung der Haftung für Abholzung: Der Phoenix steigt aus der Asche

Obwohl der Aufwand des Wiederaufforstens eine echte Herausforderung ist, ist es der beste (und vielleicht einzige) Weg, um eine noch größere Gefahr für das Klima abzuwenden. Obwohl das Ende der Abholzung obligatorisch, unvermeidlich und längst überfällig ist, wird es nicht ausreichen, um die bedrohlichen Klimatrends umzukehren. Wir müssen uns der Haftung für die Folgen der kumulativen Abholzung stellen, indem wir mit der Rückzahlung einer enormen Summe von Umweltschulden an den Wald beginnen.

Aus einer Klimaperspektive müssen wir alles, was zerstört wurde, regenerieren. Wie kann eine verwüstete Landschaft wieder aufgebaut werden? Würde es sich um eine städtische Landschaft handeln, wäre die Antwort der Bau von Strukturen und Bauwerken in jahrelanger Arbeit. Ein mühevoller Aufbau aus Ziegeln. Im Gegensatz dazu hatte die Natur mit ihren eigenen Strukturen wie Böden, Felsen und Berge Tausende, Millionen oder sogar Milliarden von Jahren gebraucht, um sich bilden. Das Ergebnis des Wirkens langsamer geophysikalischer Kräfte.

Was hat es mit einer lebenden Landschaft auf sich? Wenn früheres Leben nicht ausgestorben ist, wenn es also Fortpflanzungseinheiten, Sporen, Samen, Eier, Eltern und ihre Nachkommen gibt, tritt eine geheimnisvolle Rekonstruktionsautomatik in Kraft. Die biologischen „Ziegelsteine“ sind die Atome, die gebunden an Moleküle, Substanzen

herstellen, die Zellen bilden, zu Gewebe werden, sich zu Organen zusammenlagern, sich zu Organismen entwickeln, Ökosysteme bevölkern, in Biomen miteinander kommunizieren und deren gesamte Summe die Biosphäre ergibt.

Um eine praktische Vorstellung von dieser vernetzten und automatischen Lebensordnung zu bekommen, stellen wir uns vor, uns steht das moderne Vermögen (die menschliche Technologie) in der gleichen Weise auf unserer Fingerspitze zur Verfügung wie es die Natur macht. Wir könnten ein Auto (Arten) bestellen, und es würde als „Bereit zur Entwicklung“ Modul (Samen) geliefert. In einem Topf in der Sonne und für ein paar Wochen gewässert, würde daraus ein Fahrzeug wachsen!

Klingt das kompliziert? Es hat sich herausgestellt, dass eine solche Technologie bereits existiert und schon die ganze Zeit die Ökosysteme der Erde unter Volldampf in Betrieb hält. Ein prächtiger Baum, mit der physikalischen und biochemischen Fähigkeit, einfach zu existieren und der, an Fiktion grenzenden Eigenschaft, zu überleben, entsteht aus einem einfachen, kleinen Samen und bezieht alles, was er benötigt, um sich selbst zu formen, aus der Luft und aus dem Boden.

Somit bietet uns der Wald selbst ausgezeichnete Lösungen, um ursprüngliche Waldlandschaften wiederherzustellen. Denn er besitzt mit Hilfe eines einfachen Samens, im natürlichen Prozess der Baumregeneration in natürlichen Lichtungen ausgeklügelte Wiederherstellungs- oder Heilungsmechanismen. Es gibt eine Fülle von Pionierpflanzenarten, die in der Lage sind, auch unter extremen Umweltbedingungen zu wachsen. Diese Pflanzen schaffen einen dichten Sekundärwald und somit Bedingungen für den komplexen und in

104 (Koren et al., 2004) Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation.

105 (Nobre, 2006) *Fênix Amazônica, Renascendo das Cinzas da Destruição* (Amazonas-Phönix, Wiederaufleben aus der Asche der Zerstörung). Vorhaben, um ein Ökosystem von nachhaltigen Unternehmen im Amazonas aufzubauen.

langen Zeiträumen funktionierenden tropischen Wald, sich selbst in mittel- und langfristigen Regenerierungsprozessen wieder herzustellen¹⁰⁵.

Man muss die Landschaft auf intelligente Art nutzen, indem man das Land aufgrund seiner Fähigkeiten, seiner Verletzlichkeiten und Risiken einteilt.

Wenn jedoch ein abgeholztes Gebiet sehr groß ist, scheitern natürliche Regenerationsprozesse, weil die Pionier-Samen den nackten Boden nicht erreichen.

In diesem Fall ist es notwendig, einheimische Arten zu pflanzen. Solange es noch regnet, erholt sich der Wald in Gebieten mit Neupflanzungen. Eine Ansammlung von gepflanzten Bäumen ist besser als nackter Boden, aber es ist noch ein langer Weg, um zerstörte Ökosysteme und ihre Funktionsweise in deren gesamten Komplexität wiederherzustellen¹⁰⁶.

Wir müssen soweit wie möglich alles wiederherstellen, was verändert und zerstört wurde. Nur der Unversehrtheit des ursprünglichen Grünen-Ozean Waldes ist es zu verdanken, dass der Wasserkreislauf Südamerikas durch die geologischen Erdzeitalter hindurch intakt geblieben ist.

Wiederaufforstung in solchem Umfang setzt die Umkehr der Landnutzung in weiten, zur Zeit besetzten Gebieten voraus. Angesichts des aktuellen Szenarios ist das sehr unwahrscheinlich. Dennoch existieren alternative Wege mit guter Aussicht auf sofortige Akzeptanz. Es ist eine Frage der intelligenten Landschaftsnutzung, einschließlich der Anwendung von Flächennutzungstechnologien unter Berücksichtigung von Potenzial, Schwachstellen und Risiken des Gebiets¹⁰⁷.

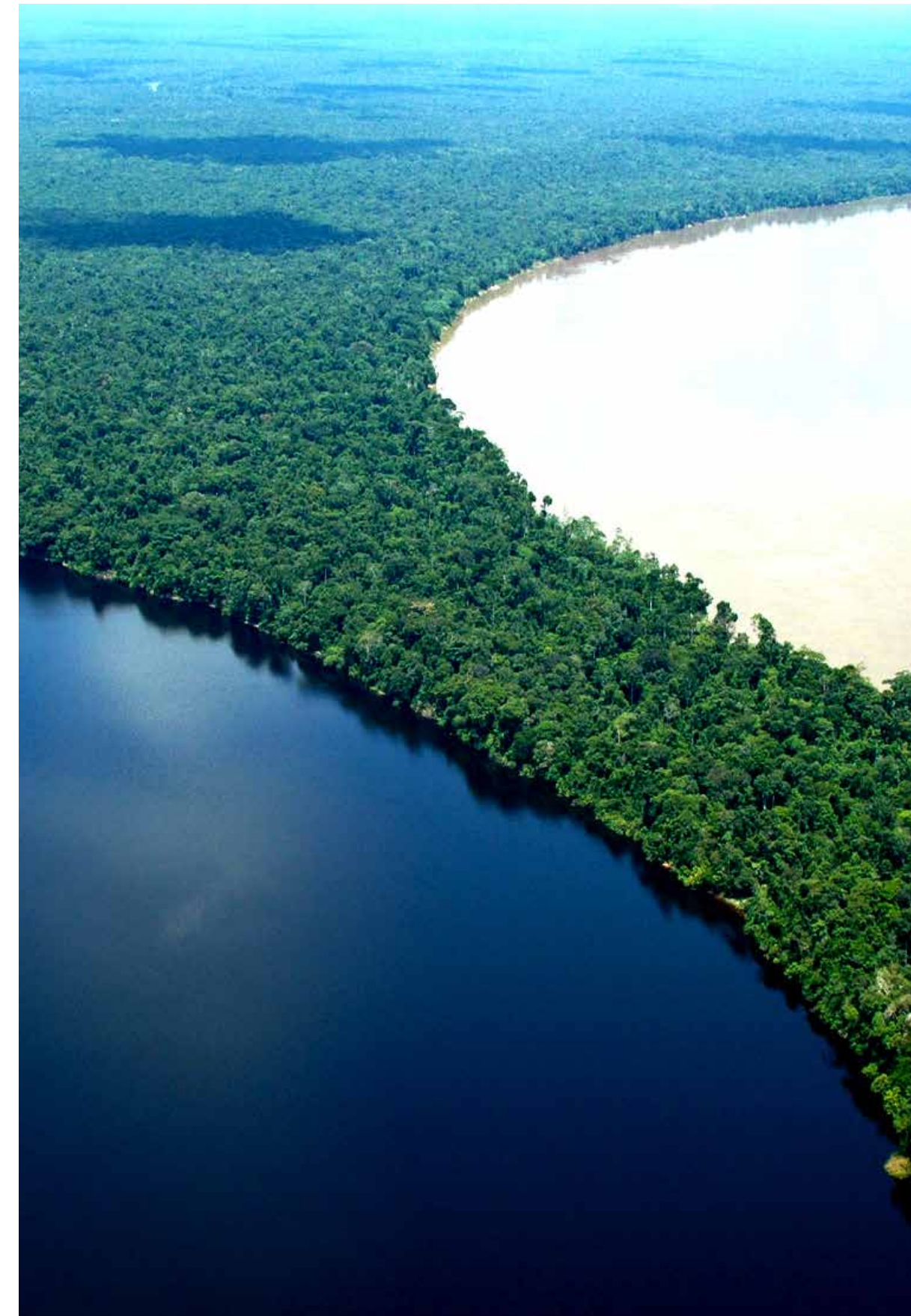
Landwirtschaft und andere wirtschaftliche Tätigkeiten in ländlichen Gebieten können unter Erhöhung der Produktionskapazität optimiert werden und somit Platz für die Wiederaufforstung durch einheimische Arten schaffen. Viele Studien von EMBRAPA¹⁰⁸ haben gezeigt, wie die Produktion von Nutztieren intensiviert und gleichzeitig der Bedarf an Weidefläche stark reduziert werden kann. Projekte wie Y Ikatu Xingu¹⁰⁹ und Cultivando Água Boa¹¹⁰ (Das Pflegen der Wasserqualität) haben gezeigt, dass ein Zusammenschluss von Akteuren unterschiedlicher Bereiche äußerst nützlich und effektiv bei der Wiederherstellung von Auwäldern und der Durchführung anderer wertvoller Nachhaltigkeitsmaßnahmen sein kann.

Während der Finanzkrise von 2008 haben die Regierungen mehrerer Nationen innerhalb von 15 Tagen beschlossen, die Banken zu einem Preis von Billionen Dollar zu retten.

Das vorhergesagte Klimachaos hat das Potenzial, unermesslich schädlicher zu sein als der Zweite Weltkrieg. Was heute undenkbar ist, kann früher als erwartet unvermeidbare Realität werden. China, mit all seinen schwerwiegenden Umweltprobleme, hat das bereits verstanden und sich in das Land mit den meisten laufenden Wiederaufforstungsmaßnahmen gewandelt. Das Wiederherstellen von heimischen Wäldern ist der beste Einsatz, den wir gegen das Klimachaos machen können und die einzige wahre Versicherung, die wir kaufen können.

5.5) Regierungen und Gesellschaft müssen aufwachen: Realitätsschock

2008, als die Finanzblase an der Wall Street platzte, haben



¹⁰⁶ **Partners: povos e reflorestamento nos trópicos - uma rede de ensino, pesquisa e síntese** [Partner: Die Menschen und die Wiederaufforstung in den Tropen: ein Bildungs-, Forschungs- und Synthesenetzwerk] <http://partners-rcn.uconn.edu/page.php?4>, auf Englisch.
¹⁰⁷ Dies könnte unter Anwendung des **Gelände-Modells HAND** der Geländemodellierungs-Gruppe des Earth System Science Center, entwickelt vom INPE, erreicht werden: <http://modelohand.blogspot.com.br>, auf Portugiesisch.
¹⁰⁸ **EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** [Brasilianische Gesellschaft für Agrarforschung] <https://www.embrapa.br/en/meio-ambiente>, auf Englisch.
¹⁰⁹ **Y Ikatu Xingu, salvando a água boa do Xingu** [Y Ikatu Xingu, Speichern Sie das gute Wasser von Xingu] <http://www.yikatuxingu.org.br>, auf Portugiesisch.
¹¹⁰ **Cultivando a Água Boa, um programa da Itaipu Binacional (hidrelétrica)** [Das gute Wasser kultivieren, ein Programm von Itaipu Binacional (Wasserkraftunternehmen)] <http://www.cultivandoaguaboa.com.br>, auf Portugiesisch.



Regierungen auf der ganzen Welt in nur 15 Tagen entschieden, Billionen von Dollar öffentlicher Gelder zu nutzen, um private Banken zu retten und den drohenden Zusammenbruch des Finanzsystems zu verhindern.

Obwohl es drängt, scheint die Null-Abholzung ein Ziel zu sein, das erst in ferner Zukunft erreicht werden kann.

Die Klimakrise hat das Potenzial, unermesslich viel schlimmer zu werden als jede Finanzkrise. Die herrschende Elite jedoch scheut sich seit über 15 Jahren vor effektiven Entscheidungen, um die Menschheit vor der Klimakatastrophe zu bewahren. Trotz der Fülle wissenschaftlicher Beweise¹¹¹ und machbarer, kreativer und ansprechender Lösungen¹¹² scheint sich dieses Zaudern zu verstärken.

Im Amazonasgebiet sind Verzögerungen von Beschlussfassungen direkt mit langen Fristen für Ziele und Aktionen verknüpft, die zwar als dringend angesehen werden sollten, aufgrund einer undurchdringlichen und auf Verhinderung geeichten Bürokratie stagnieren. Verzögerungen sind auch Folge der Schwerfälligkeit, Sachmittel für vorteilhafte, alternative Projekte bereitzustellen. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die schleppende Kenntnisaufnahme von wissenschaftlichen Fakten zur Bedeutung der Wälder für das Klima. Das Ignorieren von innovativen, kostengünstigen und praktikablen Lösungen zur Steigerung des wirtschaftlichen Wertes der Wälder¹¹³ bedeutet, das Problem lediglich zu verschieben. Bereits vor einem Jahrzehnt war Null-Abholzung eine dringende Angelegenheit. Sie wird aber immer noch als ein Ziel der fernen Zukunft dargestellt. All dies steht im krassem Gegensatz zu den fünfzehn Tagen, die benötigt wurden, um die Banken zu retten.

Im Jahr 2004 sah man mit ansteigender Dynamik die ersten kohärenten und konsequenten Bemühungen gegen die Abholzung im brasilianischen Amazonien. Die Ergebnisse liegen auf der Hand und zeigen, dass es tatsächlich möglich ist, sogar noch weiter zu gehen. Doch trotz verheißungsvoller Initiativen und wichtiger Versprechen der Kohlenstoff-Projekte, sind wir noch Lichtjahre von jenem „Kriegseinsatz“ entfernt, der benötigt wird, um gegen den Klima-Abbau effektiv anzugehen. Um entscheidend vorwärts zu kommen, sind weitere kreative und kraftvolle Initiativen dringend notwendig.

Die herrschenden Eliten können noch immer den Lauf der Dinge ändern. Sie müssen den Willen und die Demut aufbringen, die enorme Gefahr eines unmittelbar bevorstehenden Zusammenbruchs des Umweltsystems zu erkennen.

Umfänglich durch die Wissenschaft dokumentiert stellen der globale Klimawandel und die regionalen und lokalen Auswirkungen der Entwaldung einen Fuß in die Tür der politischen Lethargie und setzen die Entscheidungsträger unter zunehmenden Druck.

Wenn es qualifizierten wissenschaftlichen Erkenntnissen, dem Vorsorgeprinzip und sogar dem gesunden Menschenverstand nicht gelungen ist, eine angemessene Reaktion bei denjenigen zu verursachen, die die finanziellen Mittel und strategischen Ressourcen haben, um die Dinge zu ändern, dann wird der Schock über trockene Wasserhähne, überflutete Städte und andere Naturkatastrophen ganz sicher eine Reaktion provozieren.

¹¹¹ (Edenhofer et al., 2014) IPCC WGIII AR5 SPM Zusammenfassung für Politiker; (Agrawala et al., 2014) IPCC WGIII AR5 TS Technische Zusammenfassung, auf Englisch.

¹¹² Zum Beispiel: (Stern, 2007) Stern Bericht über die Wirtschaft des Klimawandels; (Sukhdev, et al., 2009) **TEEB** - Ökonomie der Ökosysteme und Biodiversität: Klimaprobleme aktualisieren: <http://www.teebweb.org/our-publications/teeb-study-reports/synthesis-report/> auf Englisch.

¹¹³ Zum Beispiel: (Meir et al., 2011) Ecosystem Services for Poverty Alleviation in Amazonia; (Trivedi et al., 2009) REDD and PINC: A new policy framework to fund tropical forests as global 'eco-utilities'.

Schlussfolgerungen

Im großen Amazonas-Regenwald bewahrt die Erde eines ihrer spektakulärsten Schätze: eine Fülle von Lebensformen, die Kohlendioxid einatmen und Sauerstoff ausatmen, Wasser verdunsten, magische Gerüche emittieren, giftige Gase entfernen, pulsieren, regulieren und befeuchten, Regen sowie Winde erzeugen und Luft-Flüsse nähren, den Zorn der Elemente beschwichtigen, ein Klima zu schaffen, dass sowohl in der Nähe als auch in der Ferne zugänglich ist. Gesellschaften, die unter seinem lebensspendenden Atem geschützt sind, finden in ihm eine Nabelschnur, die ihre Volkswirtschaften unterstützt und sie mit Wohlbefinden versorgt. All dies macht es notwendig, wünschenswert, lebensnotwendig und sogar profitabel, die Art und Weise der menschlichen Inbesitznahme im Amazonas Gebiet zu ändern.

Es gibt viele Alternativen für die Wiederbelebung einer respektvollen Koexistenz mit dem Regenwald, ein Charakteristikum alter Zivilisationen.

Obwohl die vorgeschlagenen Hilfsmaßnahmen notwendig sind, um eine funktionelle Rehabilitierung der Klimaregulierung durch den Wald zu erreichen, ist

die entscheidende Neuigkeit, dass wir Verantwortung für die Folgen der Abholzung übernehmen können, in dem wir wieder Aufforsten und somit das ökologische System renaturieren. Es gibt viele ausgezeichnete Alternativen für eine Wiederbelebung einer respektvollen (und technologischen) Koexistenz¹¹⁴, derer sich früher die alten Zivilisationen im Einklang mit dem Wald erfreut haben¹¹⁵.

Eine Kriegseinstellung gegenüber Unwissenheit und für das Bewusstmachen der lebenswichtigen Bedeutung der Wälder ist die beste Strategie, um Menschen - beginnend mit unseren führenden Politikern – mit dem gemeinsamen Ziel zusammenzuführen und verlorene Zeit aufzuholen. Das wird uns eine echte Chance eröffnen, das schlimmste Szenario der Klimakatastrophe zu verhindern. Wenn wir aber, trotz des riesigen Berges an wissenschaftlichen Erkenntnissen, immer noch nicht handeln, oder wenn wir uns zu langsam bewegen, dann ist es wahrscheinlich, dass wir mit Verlusten rechnen müssen, die für jene völlig unverständlich sein werden, die noch Schatten und frisches Wasser genießen konnten.



114 (Balée, 2003) Native Views of the Environment in Amazonia.

115 (Heckenberger et al., 2003) Amazonia 1492: pristine forest or cultural parkland?

Epilog: Der Prolog einer neuen Ära

Der mythische Amazonas-Regenwald ist bedeutend größer als das, was die Menschheit auch immer in ihm zu sehen vermag. Er ist viel mehr als nur ein geographisches Museum für gefährdete Arten, die in einem Naturschutzgebiet gehalten werden. Und er ist sicherlich sehr viel mehr als eine einfache Kohlenstofflagerstätte, die in Klima-Abkommen etwas abfällig als „tote Masse“ bezeichnet wird.

Der Wald ist ein spektakulärer Technologiepark der Natur, ein Wohnkomplex, eine leistungsstarke, vielseitige Fabrik von Umweltdienstleistungen. Jeder Ruf nach einer Bewertung des Waldes muss diesen inneren Wert berücksichtigen. Wir müssen unsere Fähigkeit heraufbeschwören, uns vom Gigantismus der Biologie der Tropen auf allen Ebenen beeindrucken zu lassen. Von den Veränderungsmöglichkeiten winziger Atome und Moleküle, bis hin zum Zusammenspiel der Ozeane mit der globalen Atmosphäre.

Was wir anhand der menschlichen Eingriffe in den Amazonas-Regenwald feststellen, ist ein erheblicher Mangel an Bewusstsein, sowohl derjenigen, die an der Zerstörung beteiligt sind als auch von denen, die vage seinen Schutz suchen. Bislang ist noch jede neue Initiative zur Verteidigung des Waldes die gleichen Wege gegangen und hat die gleichen Tasten gedrückt. Im Befolgen dieser Muster beharren wir auf dem, was Einstein als Geisteskrankheit an sich definiert hat: „Immer und immer wieder dasselbe tun, aber unterschiedliche Ergebnisse erwarten“.

Aufgrund reichlich vorhandener wissenschaftlicher Erkenntnisse und anderer zugänglicher Formen der Wahrnehmung und des Verstehens können wir Probleme mit einem neuen, sowohl einleuchtenden, integrativen als auch proaktiven und somit konstruktiven Ansatz lösen. Ein Ansatz, der sich darüber hinaus vom reduktionistischen und belanglosen Pragmatismus unterscheidet¹¹⁶, der uns bis jetzt geleitet hat.

Umfassende und ernsthafte Analysen eröffnen zahlreiche Möglichkeiten der Harmonisierung der heutigen Gesellschaft samt ihrer Interessen mit einem Amazonien, dass lebendig und kräftig ist und in seiner vollen Leistungsfähigkeit wieder aufgebaut werden kann. Um dorthin zu gelangen, brauchen wir Begeisterung, Bescheidenheit, Engagement und eine Verpflichtung für das Leben. Mit den technologischen Ressourcen, die uns zur Verfügung stehen, können wir auf intelligente Weise Land „besetzen“, indem wir die neuen Formen der Landnutzung optimieren und damit Raum für die ökologische Rehabilitation des Waldes lassen. Wir können auch viele andere gut gehütete Geheimnisse einer unverwüstlichen Tropenbiologie aufdecken und damit das bisherige Verständnis ihrer Mechanismen erweitern.

Als Pionierin in der Wahrnehmung dieser Chancen hat Janine Benyus in ihrem Buch *„Biomimicry, Innovation inspired by Nature“*¹¹⁷ anhand der Idee einer Verbindung zwischen Natur und Technik eine Revolution gestartet. Mit der These, dass die Menschen bewusst das Genie der Natur in ihren

Eigenkreationen kopieren sollten, etabliert sie drei Grundprinzipien für diese Annäherung:

- *Die Natur als Vorbild:* die Natur-Systeme studieren und sich davon inspirieren zu lassen. Ihre Entwürfe und Prozesse als Vorlage nutzen, um menschliche Probleme zu lösen.

- *Die Natur als Maß:* Normen oder ökologische Kriterien verwenden, um die Richtigkeit unserer Innovationen zu beurteilen. Nach 3,8 Milliarden Jahre Entwicklung hat die Natur gelernt, was funktioniert, was angemessen ist und was andauert.

- *Die Natur als Mentor:* Eine neue Art, die Natur zu betrachten und ihren Wert zu schätzen, woraus sich eine neue Ära entwickeln könnte, deren Grundlage nicht etwa auf der Fragestellung basiert, was wir ihr entziehen, sondern was wir von ihr lernen können.

Zuzüglich zu diesen 3 Prinzipien könnten verschiedene andere Grundsätze, die die Art und Weise regeln, wie die Natur arbeitet, die meisten aktuellen Probleme lösen. Eine kurze Liste dieser Grundsätze, die von Janine Benyus skizziert wurden, stellt fest, dass die Natur durch Sonnenlicht angetrieben wird; sie verwendet nur die Energie, die sie braucht; sie passt die Form der Funktion an; sie recycelt alles; sie belohnt die Zusammenarbeit; sie setzt auf Vielfalt; sie verlangt lokales Know-how; sie zügelt Exzesse von innen und klopft die Macht der Grenzen fest.

¹¹⁶ Zitat nach Einstein: „Wir können die Probleme nicht lösen, indem wir die gleiche Art von Denken verwenden, mit der wir sie erstellt haben.“ Pragmatismus, der Erzeuger von Problemen, sollte nicht die Lösung derselben Probleme sein.

¹¹⁷ (Benyus, 1997) *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*.

Literatur

Alves D.S., 2007. Science and technology and sustainable development in Brazilian Amazon Tscharrntke T. et al., (eds), **The stability of tropical rainforest margins, linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation**, Springer Verlag Berlin, pp 493-512.

Agrawala, S., Baiocchi, G., Bashmakov, I., Blanco, G., Bruckner, T., Bustamante, M., Clarke, L., 2014. **IPCC WGIII AR5 TS** Technical Summary.

Andreae, M.O., Rosenfeld, D., Artaxo, P., Costa, A.A., Frank, G.P., Longo, K.M., Silva-Dias, M. a F., 2004. **Smoking rain clouds over the Amazon**. Science 303, 1337–42.

Arraut, J.M., Nobre, C., Barbosa, H.M.J., Obregon, G., Marengo, J., 2012. **Aerial Rivers and Lakes**: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. J. Clim. 25, 543–556.

Baker, P.A., Seltzer, G.O., Fritz, S.C., Dunbar, R.B., Grove, M.J., Tapia, P.M., Cross, S.L., Rowe, H.D., Broda, J.P., 2001. **The history of South American tropical precipitation for the past 25.000 years**. Science 291, 640–3.

Balée, W., 2003. **Native views of the environment in Amazonia, in**: Selin, H. (Ed.), Nature across Cultures: Views of Nature and the Environment in Non- Western Cultures. Kluwer Academic Publishers, pp. 277–288.

Benyus, J.M., 1997. **Biomimicry**: Innovation Inspired by Nature. New York: William Morrow, 1997.

Berger, A., Yin, Q., 2012. Astronomical Theory and Orbital Forcing, in: Mathews, J.A., et al. (Eds.), **The SAGE Handbook of Environmental Change: Volume 1**. pp. 405–425.

Brando, P.M., Balch, J.K., Nepstad, D.C., et al., 2014. **Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions**. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.

Cox, P.M., Betts, R.A., Jones, C.D., Spall, S. a, Totterdell, I.J., 2000. **Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model**. Nature 408, 184–7.

Cox, P.M., Harris, P.P., Huntingford, C., Betts, R.A, Collins, M., Jones, C.D., Jupp, T.E., Marengo, J.A, Nobre, C.A, 2008. **Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution**. Nature 453, 212–5.

Edenhofer, O., Madrugá, R.P., Sokona, Y., et al., 2014. IPCC WGIII AR5 SPM : **Summary for Policymakers Contents**. ONU - UNFCC

Espírito-Santo, F.D.B., Gloor, M., Keller M., et al., 2014. **Size and frequency of natural forest disturbances and the Amazon forest carbon balance**. Nature. DOI: 10.1038/ncomms4434

Eva, H.D., and Huber, O., (editores) 2005. **A proposal for defining the geographical Boundaries of Amazônia**. Synthesis of the results from an Expert Consultation Workshop organized by the European Commission in collaboration with the Amazon Cooperation Treaty Organization - JRC Ispra, Italy

Feldpausch, T.R., Banin L., Phillips, O.L., et al., 2011. **Height-diameter allometry of tropical forest trees**. Biogeosciences, 8, 1081–1106, 2011

Foley, J., Costa, M., 2003. **Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate**. Front. Ecol. Environ. 1(1): 38-44

Fu, R., Yin, L., Li, W., et al., 2013. **Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection**. Proc. Natl. Acad. Sci., 110, 18110–5.

Gambini, 2000, **Espelho índio: a formação da alma brasileira**. Terceiro Nome Editora, 2000.

Gash, J.H.C. et al, 1996. **Amazonian Deforestation and Climate**, 1st ed. John Wiley & Sons, West Sussex.

Good, P., Jones, C., Lowe, J., Betts, R., Gedney, N., 2013. **Comparing Tropical Forest Projections from Two Generations of Hadley Centre Earth System Models, HadGEM2-ES and HadCM3LC**. J. Clim. 26, 495–511.

Gorshkov, V.G., Makarieva, A.M., Gorshkov, V. V, 2004. **Revising the fundamentals of ecological knowledge: the biota–environment interaction**. Ecol. Complex. 1, 17–36.

Gorshkov, V.G., Makarieva, A.M., Gorshkov, V.V., 2000. **Biotic Regulation of the Environment: Key Issues of Global Change**. Springer Verlag.

Heckenberger, M.J., Kuikuro, A., Kuikuro, U.T., Russell, J.C., Schmidt, M., Fausto, C., Franchetto, B., 2003. **Amazonia 1492: pristine forest or cultural parkland?** Science 301, 1710–4.

Hodnett, M.G., Oyama, M.D., Tomasella, J., Filho, A.O.M., 1996. **Comparisons of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia**. Amaz. Deforestation Clim. Chapter 3, 1–21.

Hooghiemstra et al., 2002. **Evolution of forests in the northern Andes and Amazonian lowlands during the Tertiary and Quaternary**, in Guariguata M & G Kattan, eds. Ecology of Neotropical Rainforests. Ediciones LUR, Cartago, Costa Rica, 2002

Huete, A.R., Didan, K., Shimabukuro, Y.E., Ratana, P., Saleska, et al., 2006. **Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season**. Geophys. Res. Lett. 33.

Hutyra, L.R., Munger, J.W., Nobre, C.A., Saleska, S.R., Vieira, S.A., Wofsy, S.C., 2005. **Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazônia**. Geophys. Res. Lett. 32, L24712.

Jasechko, S., Sharp, Z.D., Gibson, J.J., Birks, S.J., Yi, Y., Fawcett, P.J., 2013. **Terrestrial water fluxes dominated by transpiration**. Nature 496, 347–50.

Koren, Y.J. Kaufman, L.A. Remer, J.V. Martins, 2004. **Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation**. Science, 303, 5662, 1342-1345

Laurance WF, MA. Cochrane, S. Bergen, et al., 2001a. **The Future of the Brazilian Amazon**. Science, 291, 5503, 438-439.

Laurance, W.F., Williamson, G.B., 2001b. **Positive Feedbacks among Forest Fragmentation, Drought, and Climate Change in the Amazon Conservation Biology**. 15, 6 p1529

Lawrence, D., Vandecar, K., 2014. **Effects of tropical deforestation on climate and agriculture**. Nature Climate Change, DOI :10.1038/NCLIMATE2430 DOI: 10.1038/NCLIMATE2430 DOI: 10.1038/NCLIMATE2430

Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G., Li, B.-L., 2008. **On the validity of representing hurricanes as Carnot heat engine**. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 8, 17423–17437.

Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G., 2007. **Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land**. Hydrol. Earth Syst. Sci. 11, 1013–1033.

Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G., Sheil, D., Nobre, A.D., Li, B.-L., 2013. **Where do winds come from? A new theory on how water vapor condensation influences atmospheric pressure and dynamics**. Atmos. Chem. Phys. 13, 1039–1056.

Makarieva A.M., Gorshkov V.G., Nefiodov A.V. (2014) **Condensational power of air circulation in the presence of a horizontal temperature gradient**. Physics Letters A, 378, 294-298.

Makarieva A.M., Gorshkov V.G., Sheil D., Nobre A.D., Bunyard P., Li B.-L. (2014) **Why does air passage over forest yield more rain? Examining the coupling between rainfall, pressure, and atmospheric moisture content**. Journal of Hydrometeorology, 15, 411-426.

Malhi, Y., Aragão, L., Galbraith, D., Huntingford, C., Fisher, R., Zelazowski, P., Sitch, S., Mcsweeney, C., Meir, P., 2009. **Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest**. Proc. Natl. Acad. Sci., 106, 20610–20615.

Marengo, J.A., 2004. **Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River Basin Water Budget**. Clim. Dyn. 24, 11–22.

Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L.M., Soares, W.R., Rodriguez, D.A., 2011. **The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region**. Geophys. Res. Lett. 38.

Marengo, J., Borma, L., Rodriguez, D., 2013. **Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation**. Am. J. Clim. Chang. 2013, 87–96.

Marengo, J., Soares, W., Saulo, C., Cima, M., 2004. **Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability**. J. Clim. 17, 2261–2280.

Marengo, J.A., Tomasella, J., Soares, W.R., Alves, L.M., Nobre, C.A., 2011. **Extreme climatic events in the Amazon basin**. Theor. Appl. Climatol. 107, 73–85.

Marques et al. 1977. **Precipitable water and water vapor flux between Belem and Manaus**. Acta Amazonica, 7, 355-362

Matsui et al., 1976. **Isotopic hydrology in Amazonia 2: Relative discharges of the Negro and Solimões rivers through 180 concentrations**. Water Resour. Res., 2(4), 781-785.

Meir, P., Mitchell, A., Marengo, J., Young, C., Poveda, G., Llerena, C.A., Rival, L., Meneses, L., Hall, A., Betts, R., Farley, J., Fordham, S., Trivedi, M., 2011. **Ecosystem Services for Poverty Alleviation in Amazonia**. Global Canopy Programme

Molion, 1975. **A climatonomic study of the energy and moisture fluxes of the Amazonas basin with considerations of deforestation effects**. Ph.D. thesis, University of Wisconsin, Madison.

Nepstad, D., Lefebvre, P., Lopes da Silva, U., Tomasella, J., Schlesinger, P., Solorzano, L., Moutinho, P., Ray, D., Guerreira Benito, J., 2004. **Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis**. Glob. Chang. Biol. 10, 704–717.

Nepstad, D.C., Verissimo, A., Alencar, A., et al., 1999. **Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire**. Nature, 398, 505-508.

Newell, R., Newell, N., 1992. **Tropospheric Rivers? - A Pilot Study**. Geophys. Res. Lett. 12, 2401–2404.

Nobre, A.D., 2006. **Fênix Amazônico, Renascendo das Cinzas da Destruição. Proposta para a construção de um ecossistema de empreendimentos sustentáveis na Amazônia**. report, preprint. não publicado.

Nobre, A.D., 2005. **Is the Amazon Forest a Sitting Duck for Climate Change? Models Need yet to Capture the Complex Mutual Conditioning between Vegetation and Rainfall, in:** Silva Dias, P.L., Ribeiro, W.C., Nunes, L.H. (Eds.), A Contribution to Understanding the Regional Impacts of Global Change in South América. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, São Paulo, pp. 107–114.

Nobre, C., Borma, L., 2009. **“Tipping points” for the Amazon forest**. Curr. Opin. Environ. Sustain. 28–36.

Nobre, C., Sellers, P., Shukla, J., 1991. **Amazonian Deforestation and Regional Climate Change**. J. Clim. 4, 957–988.

Nobre, P., 2009a. **Peer Review Quetion Interactive comment on “On the validity of representing hurricanes as Carnot heat engine”** by AM Makarieva et al. Atmos. Chem. Phys. Discuss 8669–8670.

Nobre, P., Malagutti, M., Urbano, D.F., de Almeida, R. a. F., Giarolla, E., 2009b. **Amazon Deforestation and Climate Change in a Coupled Model Simulation**. J. Clim. 22, 5686–5697.

Oyama, M.D., Nobre, C.A., 2003. **A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America**. Geophys. Res. Lett. 30, 2199.

Phillips, O., Aragão, L., Lewis, S., Fisher, J., 2009. **Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest**. Science (80). 323, 1344–1347.

Phillips, O.L., van der Heijden, G., Lewis, S.L., et al., 2010. **Drought-mortality relationships for tropical forests**. New Phytol. 187, 631–46.

Pielke, R., Avissar, R., 1998. **Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate**. Glob. Chang. Biol. 461–475.

Pöschl, U., Martin, S.T., Sinha, B., et al., 2010. **Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon**. Science (80) 329, 1513–6.

Poveda, G., Jaramillo, L., Vallejo, L.F., 2014. **Seasonal precipitation patterns along pathways of South American low-level jets and aerial rivers**. Water Resour. Res. 50, 98–118.

Poveda, G., Mesa, O., 1997. **Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena**. J. Clim. 2690–2702.

Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., 2012. **Review article of the current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change**. Cryosph. Discuss. 6, 2477–2536.

Rummel, U., Ammann, C., Kirkman, G.A., et al., 2007. **Seasonal variation of ozone deposition to a tropical rain forest in southwest Amazonia**. Atmos. Chem. Phys., 7, 5415–5435.

Saatchi, S., Asefi-Najafabady, S., Malhi, Y., 2013. **Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy**. Proc. Natl. Acad. Sci., 110, 565–70.

Salati, E., Dall’Olio, A., Matsui, Gat, J.R., 1979. **Recycling of Water in the Amazon Basin: An Isotopic Study**. Water Resour. Res. 15, 1250–1258.

Saleska, S.R., Didan, K., Huete, A.R., da Rocha, H.R., 2007. **Amazon forests green-up during 2005 drought**. Science 318, 612.

Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M.H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B.S., Cardoso, M., 2007. **Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion**. Geophys. Res. Lett. 34.

Sellers, P.J., Mintz, Y., Sud, Y.C., Dalcher, A., 1986. **A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models**. J. Atmos. Sci. 43, 505–531.

Sheil, D., Murdiyarso, D., 2009. **How Forests Attract Rain: An Examination of a New Hypothesis**. Bioscience 59, 341–347.

Spracklen, D.V., Arnold, S.R., Taylor, C.M., 2012. **Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests**. Nature 489, 282–5.

Stern, N., 2006. **Stern Review: The economics of climate change**. London: HM treasury.

Sukhdev, P., Bishop, B., Brink, J., et al., 2009. **TEEB - The Economics of Ecosystems & Biodiversity: Climate Issues Update**

Trivedi, M., Mitchell, A., Mardas, N., Parker, C., Watson, J., Nobre, A., 2009. **REDD and PINC: A new policy framework to fund tropical forests as global “eco-utilities”**. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 8, 012005.

Valeriano, D. de M., Monteiro, A.M.V., et al., 2008. **Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites**. Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD E QUEIMADAS 2007-2008 INPE. Sao Jose dos Campos.

Viana, E. de S., 2012. **Máquinas e Métodos de Desmatamento**. Monografia, Universidade Estadual de Goiás. 18p.

Villa Nova et al., 1976. **Estimativa de evapotranspiração na Bacia Amazônica**. Acta Amazônica, 6(2): 215 - 228.

Von Randow, C., Manzi, a. O., Kruijt, B., et al., 2004. **Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia**. Theor. Appl. Climatol. 78, 5–26.

Von Randow, C., Zeri, M., Restrepo-Coupe, N., et al., 2013. **Inter-annual variability of carbon and water fluxes in Amazonian forest, Cerrado and pasture sites, as simulated by terrestrial biosphere models**. Agric. For. Meteorol. 182-183, 145–155.

Williams, E., D. Rosenfeld, N. Madden, et al., 2002. **Contrasting convective regimes over the Amazon: Implications for cloud electrification**. J. Geophys. Res., 107, 8082, doi:10.1029/2001JD000380.

Credits

Design und E-Publishing:

Felipe Horst – www.felipehorst.com

Abbildungen:

Agência Brasil, André Villas Bôas/ISA, Antonio Nobre, Gerlando Lo Savio, Margi Moss, Meirat Andreae, Philip Davison and image banks.

REALISIERUNG



INSTITUTIONELLES SPONSORING



STRATEGISCHE PARTNERSCHAFT



UNTERSTÜTZT VON



ISBN 978-85-17-00087-4

