

*In den Wäldern sind Dinge, über die nachzudenken man jahrelang im Moos liegen könnte.*

Franz Kafka

## **Implementation von Nutzungsszenarien für den Tropischen Bergnebelwald in Mexiko**

Bericht zum großen Projekt  
am Umweltforschungszentrum Leipzig im Sommer 2004  
von Jan Priegnitz, Angewandte Systemwissenschaft

### **Inhalt**

I. Definition des Tropischen Bergnebelwaldes, seine Eigenheiten und sein Vorkommen	2
II. Seine Gefährdung durch Klimaerwärmung und anthropogene Nutzung .....	4
III. Das verwendete Modell.....	7
IV. Ergebnisse und Diskussion .....	9
V. Die Institution des UFZ.....	13
VI. Literaturverzeichnis .....	14
VII. Abbildungen der Simulationsergebnisse .....	14

## I. Definition des Tropischen Bergnebelwaldes, seine Eigenheiten und sein Vorkommen

Der Begriff ‚Tropischer Bergnebelwald‘ lässt sich wie folgt zerlegen:

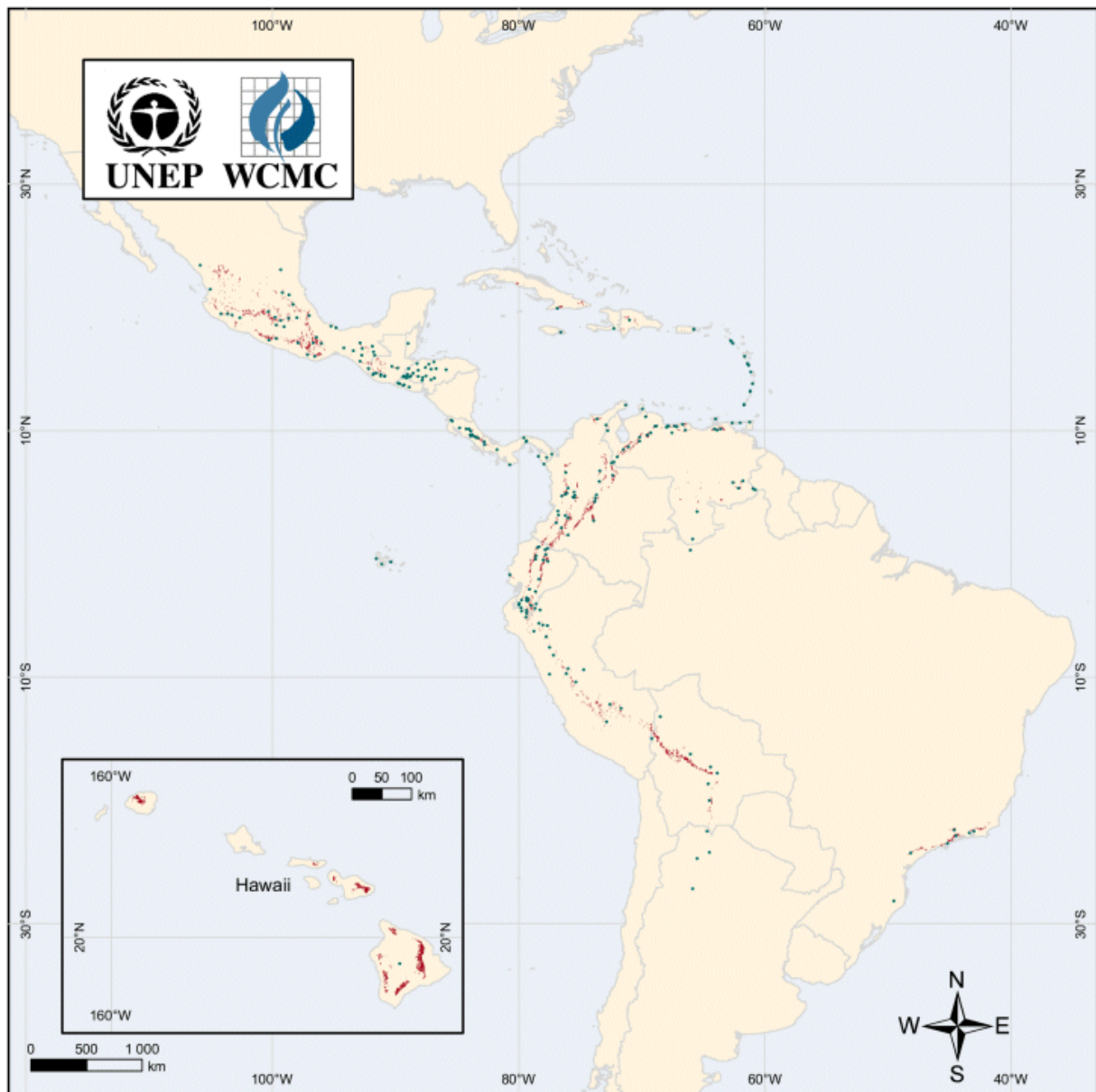
- *tropisch* heißt zwischen den Wendekreisen (nur dort kann die Sonne im Zenith stehen). Durch den hohen Sonnenstand ist die Einstrahlung nach dem Gesetz von Lambert entsprechend hoch. Der Tagesgang der Temperatur ist ausgeprägter als die jährliche Amplitude.
- *Berge* charakterisieren das Verbreitungsgebiet dieses Ökosystems. Etwa in 2000-3500 m Höhe, an der Küste schon ab 1000 m, auf Inseln ab 500 m. Dies wird als ‚telescoping‘ effect bezeichnet [2, S.5]: Ein virtueller Beobachter, der von der Küste ins Inland blickt, sieht den Bergnebelwald mit größerer Entfernung in immer größerer Höhe (ähnlich dem Strahlensatz). Dieses Phänomen wird damit erklärt, dass die maritimen Luftmassen mehr Feuchtigkeit mit sich führen und diese schon in den Küstengebieten abgeben.
- orographischer *Nebel* entsteht konvektiv beim Aufgleiten von Luftmassen an den Berghängen. Bei einem trockenadiabatischen Gradienten erfolgt pro 100 m eine Temperaturänderung um etwa 1 ° C. Mit der Höhe nimmt so die Sättigungsfeuchte ab und die relative Feuchte nimmt zu bis der Taupunkt unterschritten wird. Nun kann das kondensierte Wasser von der Vegetation ausgekämmt werden. Es ist möglich, dass die Wassermenge aus diesem ‚horizontalen Regen‘ die aus dem konventionellen vertikalen Niederschlag übersteigt. Für vertikalen Niederschlag müssen die Tröpfchen zu größeren Tropfen koagulieren, bis die Fallgeschwindigkeit die konvektive Strömung überwinden kann.
- *Wald*: ein dichter Bestand von hohen Holzpflanzen

Im Englischen ist die Bezeichnung ‚Tropical Montane Cloud Forest‘ gebräuchlich, die mit TMCF abgekürzt wird. Diese Abkürzung werde ich fortan verwenden.

TMCF weisen die höchste pflanzliche Biodiversität unter allen Ökosystemen auf, in der Fauna ist sie weniger ausgeprägt. Der 20 km<sup>2</sup> messende Centinella Ridge in West-Ecuador weist allein 90 endemische Pflanzenarten auf. Charakteristisch sind Eichen, Magnolien, Erlen, Farne, Lorbeer und diverse Epiphyten. Diese auf anderen Pflanzen sitzenden Pflanzen sind auf den ‚horizontalen Regen‘ besonders angewiesen, da sie keinen Bodenkontakt haben.

Betreiber von Wasserkraftwerken würden jährlich bis zu 40 US-\$ pro Hektar TMCF den Eigentümern zahlen in Anerkennung für dessen Rolle im Wasserhaushalt.

Die folgende Abbildung zeigt das Vorkommen des TMCF auf dem amerikanischen Kontinent [3, S.8]. Die grünen Punkte stammen aus einer Datenbank, die roten „Flächen“ stellen weitere potentielle Gebiete dar und wurden aus einem GIS gewonnen. Hierzu wurden die in Frage kommenden Höhenstufen zwischen den Wendekreisen mit den allgemeinen Waldflächen aus nationalen Datenbeständen verschnitten (aktualisiert um die Flächen, die in einem Satellitenbild eine Kronendichte von mehr als 40 % aufweisen)<sup>1</sup>.



Auffällig sind die Anden und das leere (weil zu tief gelegene) Amazonasbecken. Auf den anderen Kontinenten ist das Vorkommen genauso versprenkelt. TMCF bedeckt weltweit 0,38 Mio. km<sup>2</sup> (zum Vergleich: die Fläche Deutschlands umfasst 0,357 Mio. km<sup>2</sup>, Mexiko 1,958

<sup>1</sup> Ferner wäre es denkbar, mit den Hauptwindrichtungen Föhnneffekte zu berücksichtigen: Auf der Leeseite von Bergketten sind die Luftmassen schon größtenteils abgeregnet, die stärkere Erwärmung würde auch die Entstehung von Strahlungsnebel erschweren.

Mio. km<sup>2</sup>), das sind 0,26 % des Festlandes und auch nur 2,5 % der Fläche des gesamten tropischen Regenwaldes.

Die Eingangsdaten für das verwendete Modell wurden von G. Williams-Linera in einem Waldstück in der Region Xalapa im Staat Veracruz am Golf von Mexiko erhoben. In Mexiko macht TMCF weniger als 1 % der Landesfläche aus.

## **II. Seine Gefährdung durch Klimaerwärmung und anthropogene Nutzung**

Infolge der Klimaerwärmung wird der für die Wolkenbildung wichtige Taupunkt erst in höheren Höhen unterschritten: Die Wolkenfelder treiben nicht mehr durch die Wälder, sondern ziehen darüber hinweg. Versucht der TMCF nun den Wolken nachzufolgen, muss sich seine Fläche zwangsläufig verringern, da sich Berge für gewöhnlich nach oben hin verjüngen. Einige Gebiete verinseln<sup>2</sup>, andere, die sich schon auf den Gipfeln tummeln, verschwinden ganz.

Ursprünglich war das vom TMCF bedeckte Gebiet wegen der unwegsamen Hänge und der häufigen Wolkenbedeckung für eine landwirtschaftliche Nutzung eher ungeeignet. Wegen Bodendegradation auf den alten Ackerflächen und den Bevölkerungsdruck ließ sich eine Erschließung nicht aufhalten. Nach dem Kahlschlag oder Brandrodung (Vorteil der Düngung) folgen entweder Plantagen, Viehweiden oder Infrastruktur. Das mitunter steile Terrain des TMCF begünstigt erosive Prozesse durch Massenverlagerungen.

Der weltweite Holzeinschlag<sup>3</sup> belief sich 1996 weltweit auf 3354,3 Mio. m<sup>3</sup> (in Dtl. 30 Mio. m<sup>3</sup> bei einem Bedarf von 60 Mio. m<sup>3</sup>), davon beträgt der Brennholzeinschlag 1864,8 Mio. m<sup>3</sup> (<sup>4</sup>). In den Tropen, die 1618,5 Mio. m<sup>3</sup> ausmachen, ist der verfeuerte Anteil mit 81,7 % sogar noch höher (1322,9 Mio. m<sup>3</sup>). Rechnet man die Holzentnahme in den Tropen auf die Fläche um, erhält man etwa 1m<sup>3</sup>/ha.

Im Zeitraum 1990-1995 nahm die Waldfläche Mexikos von 0,579 Mio. km<sup>2</sup> auf 0,553 Mio. km<sup>2</sup> ab, was einer jährlichen Abnahme um 0,9 % entspricht<sup>5</sup>. Demgegenüber soll im vorhergehenden Zeitraum 1981-1989 die jährliche Abnahme von 1,8 auf 4,2 % gestiegen sein [1]. Vom weltweiten ursprünglichen Bestand an TMCF sind schätzungsweise nur noch 10 % erhalten. Dieser Abwärtstrend konnte neuerdings aufgehalten werden, nachdem man sich der Bedeutung des TMCF bewusst wurde. So wurde 1995 eine 'Campaign for Cloud Forests'

---

<sup>2</sup> Metapopulationen werden hier nicht betrachtet, sind aber auch ein großes Thema am UFZ.

<sup>3</sup> aus: BFH/Institut für Ökonomie/Ollmann, nach FAO-Daten berechnet in [4, S.56]

<sup>4</sup> Man stelle sich einen brennenden Kubus mit einer Kantenlänge von 1238 m vor.

<sup>5</sup> aus: State of the World's Forests, FAO 1997 in [4, S.63]

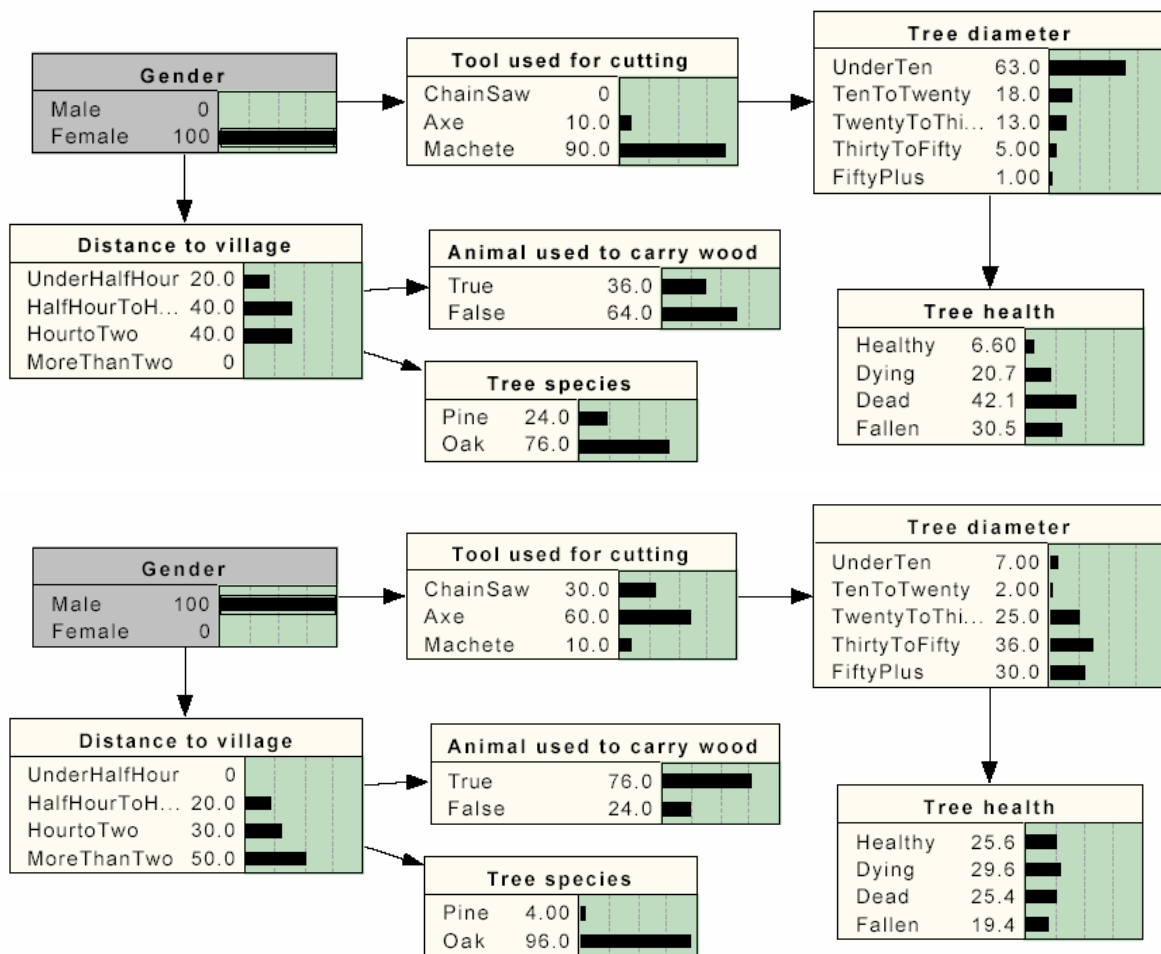
vom World Conservation Monitoring Centre, dem International Hydrological Programme der UNESCO, dem 'Man And Biosphere'-Programm und der IUCN (Commission on Ecosystems Management) initiiert. Schon 1986 erließ die mexikanische Regierung ein unwirksames Verbot kommerziellen Kahlschlags, welches 1992 in ein Gesetz umgewandelt wurde, das einen Bewirtschaftungsplan vor Aufnahme von Fällaktionen erforderlich macht.

Statt Kahlschlag kann es auch selektive Holznutzung geben, bei der sich die Waldfläche nicht verringern sollte. Diese selektive Holznutzung soll Thema dieser Arbeit sein. Ferner soll es um Brennholz gehen, das vor Ort zerlegt wird, um den Abtransport zu erleichtern. Hierdurch können Schneisen durch Waldgebiete vermieden werden, wie sie für Nutzholz üblich sind, da Hausbau und Tischlerhandwerk größere Einheiten erfordern.

Das Brennholz wird auch in der kälteren Saison kaum zum Heizen verwendet, nur zum Kochen. Typischerweise wird morgens mit dem Kochen von Mais und Bohnen begonnen, später werden Tortillas erwärmt [6, S.193]. Walter Lükenga von der Universität Osnabrück meint, dass Solarkocher nicht an die Lebensgewohnheiten der Bevölkerung in Malawi angepasst wären, da sie vor allem in den Abendstunden kochen und die Sonne dann schon sehr tief steht. Hier hingegen wäre ein Einsatz aufgrund der frühen Kochzeiten überlegenswert, andererseits könnte der wolkenverhangene Himmel im Bereich des TMCF eine ausreichende Betriebstemperatur erschweren.

Montoya-Gomez hatte den täglichen Brennholzbedarf einer Familie mit  $0,35 \text{ m}^3$  angegeben. Dies wird in [6] anhand einer eigenen Studie bezweifelt. Diese ergab für drei 7-10-köpfige Familien an 10 verschiedenen Tagen einen mittleren Verbrauch von  $0,0167 \text{ m}^3$  mit geringer Varianz zwischen den einzelnen Familien als auch zwischen den beobachteten Tagen, so dass ein großer Baum einer Familie für mindestens zwei Monate reicht. Eine Knappheit an Brennholz wurde nicht berichtet, im Umfeld von urbanen Ballungsräumen kann die Situation aber anders aussehen.

Folgende 'Bayesian belief networks' sind der Quelle [6, S.195] entnommen.



Sie zeigen das geschlechterspezifische Verhalten beim Auftreiben von Brennholz, die einzelnen Punkte sind mit Wahrscheinlichkeiten versehen. Frauen würden demnach seltener zu schwerem Gerät wie Axt und Kettensäge greifen wie ihre männlichen Artgenossen und sich mit dem Aufsammeln von Totholz begnügen. Die Hälfte der Männer legt eine Strecke von mehr als zwei Wegstunden zurück und ist beim Transport auf Lastesel angewiesen. Die Herangehensweise der Frauen ist weitaus extensiver, zum Glück holen sie auch 90 % des Holzes. Da die Tätigkeit der Männer für die Dynamik des Waldes relevanter erscheint, sollen in den Szenarien gesunde Bäume mit einem Durchmesser von mehr als 60 cm gefällt werden<sup>6</sup>. Zusätzlich wird die Baumauswahl auf funktionelle Gruppen von Baumarten eingeschränkt, was später erläutert wird.

<sup>6</sup> Mit dem neu eingefügten Parameter des maximalen Durchmessers ist auch eine obere Begrenzung möglich, wurde in den Simulationen aber nicht benutzt.

### III. Das verwendete Modell

Vorweg eine Bemerkung, die die Motivation zur Modellierung in diesem Bereich verdeutlichen soll: Im Gegensatz zur Dynamik von nemoralen Wäldern (die den Begriff der Nachhaltigkeit hinterließ) ist die der tropischen Wälder kaum erforscht. Das Fehlen von Jahresringen erschwert den Blick in das ‚Logbuch‘<sup>7</sup> eines tropischen Baumes. Gleichzeitig sind die tropischen Wälder (wie früher die nemoralen) einem starken Raubbau ausgesetzt. Dies erfordert ein durch Forschung begründetes rasches Handeln, welches langwierige in-situ-Experimente nicht abwarten kann. Stattdessen sind Modelle angebracht, mit denen sich langfristige Prognosen erstellen lassen.

Es wurde das individuenbasierte FORMIND-Modell benutzt [7], dessen Vorgänger das FORMIX-Modell mit Übergangsmatrizen ist. Die limitierenden Faktoren sind der in Zellen gegliederte Raum und Licht, das nach dem Gesetz von Beer in horizontalen Schichten von 0,5 m abgeschwächt wird. Hierfür spielt der ‚Leaf Area Index‘, kurz LAI eine Rolle, der das Verhältnis von gesamter Blattoberfläche zur vertikal beschatteten Fläche angibt. Der LAI eines einzelnen Baumes ist nicht höher als 2, durch die Überlappung der Kronen kommt ein LAI von etwa 5 zustande.

Inklination und Exposition des Reliefs müssten gerade bei diesem Ökosystem eine große Rolle spielen, im Modell wird aber von einer horizontalen Fläche ausgegangen. Wasser und Nährstoffe sind nicht als limitierende Faktoren berücksichtigt.

In den Szenarien wird ein Hektar aus 25 Zellen mit einer Kantenlänge von je 20 m herangezogen. Die Zellgröße ist willkürlich und liegt mit 400 m<sup>2</sup> im für ‚gap models‘<sup>8</sup> typischen Bereich von 200-600 m<sup>2</sup> [6, S.241]. Bei einer kleinen Zellgröße machen sich die ‚gaps‘ genannten Lücken im Bestand nach einem Baumsturz stärker bemerkbar<sup>9</sup>. Eine solche Lücke fördert das Auskeimen neuer Pflanzen. Stirbt ein Baum, fällt er mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit um und ‚tötet‘ dabei andere Bäume in einer Nachbarzelle<sup>10</sup>. Hier wurde das Modell mit einem Fuzzy-Ansatz<sup>11</sup> modifiziert. Vorher hatten ‚Täter‘- und ‚Opfer‘-Baum ihre Größe verglichen, um festzustellen, ob ein Umsturz erfolgt – Zentimeter konnten

---

<sup>7</sup> hinsichtlich englisch ‚log‘ für Baumstamm ein kleines Wortspiel (gleichzeitig stammt (sic) Buch etymologisch von der Buche ab)

<sup>8</sup> Andere Modelle arbeiten mit expliziten 3-D-Koordinaten und der Einstrahlung im Tagesverlauf was sich nicht unbedingt als Vorteil herausstellte (zu Chave in [7, S.47]).

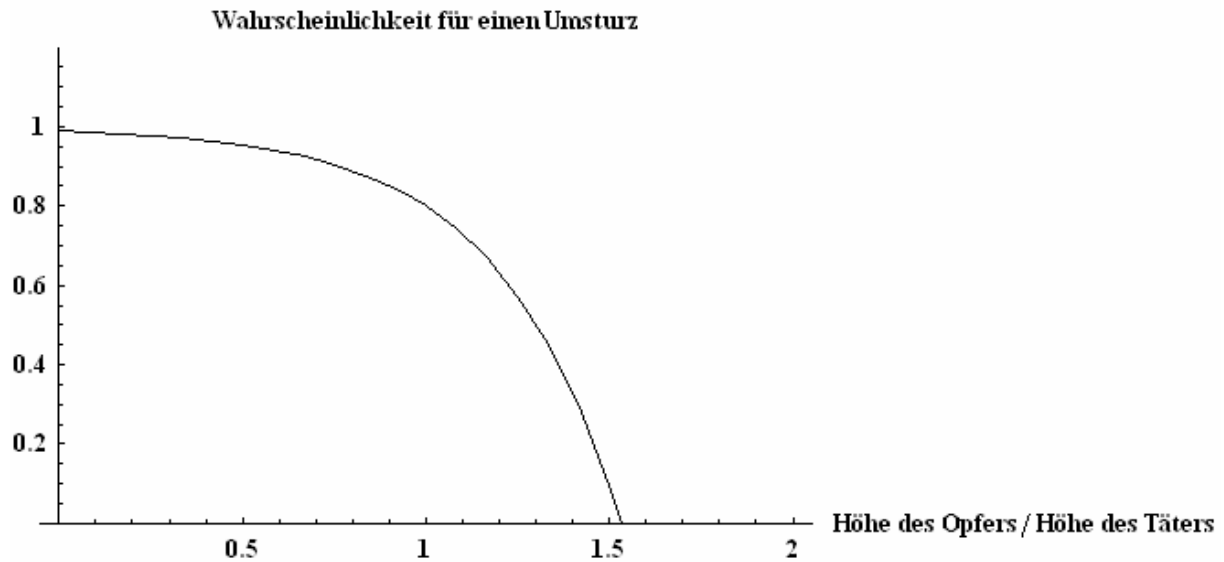
<sup>9</sup> Um die Sensitivität der Zellgröße zu untersuchen,

könnte man auf Zuschnitte von Piet Mondrian zurückgreifen : )

<sup>10</sup> Glücklicherweise macht dieser Domino-Effekt Wälder nicht allzu labil.

<sup>11</sup> weil Fuzzy ‚oft ziemlich‘ (nicht ‚immer völlig‘ : ) brauchbar ist

entscheidend sein <sup>12</sup>. Jetzt geht der Quotient aus ‚Opfer‘- und ‚Täter‘-Höhe in die Berechnung einer Unfallwahrscheinlichkeit ein. Sie ist genauso willkürlich, vermeidet aber den diskreten Sprung und könnte durch Experimente angepasst werden.



Die idealisierte Geometrie eines Baumes besteht aus einem kegelförmigen Stamm und einer zylinderförmigen Krone, deren Durchmesser etwa 20-mal größer als der Stammdurchmesser in Brusthöhe ist (kurz dbh: diameter at breast height) und ein Zehntel der Gesamthöhe ausmacht. Dies mag wenig erscheinen, die Architektur tropischer Bäume weicht aber von der nemoraler Bäume ab; außerdem wäre der Wettbewerb um Wuchsraum sonst zu ausgeprägt. Um mit der Artenvielfalt zurechtzukommen, werden sie in sechs prototypische funktionelle Gruppen eingeordnet (kurz PFT: plant functional types), die sich in Schattentoleranz und Wuchshöhe unterscheiden. Arten, die früh in der Sukzession erscheinen, benötigen entsprechend viel Licht.

<u>PFT</u>	<u>Schattentoleranz</u>	<u>max. Höhe</u>
1. Early successional small trees	wenig	15 m
2. Mid successional small trees	mittel	15 m
3. Late successional small trees	hoch	15 m
4. Mid successional canopy trees	mittel	25 m
5. Late successional canopy trees	hoch	25 m
6. Emergents	mittel	35 m

<sup>12</sup> Bäume haben aber selten ein Maßband dabei.

Der Einfluß des Strahlungsstromes auf die Photosyntheseleistung läuft gemäß einer Michaelis-Menten-Kinetik ab und unterscheidet sich für die drei Grade der Schattentoleranz. Die Wachstumskurven sind unter optimalen Bedingungen in etwa logistisch und wurden mit Gewächshausexperimenten abgeglichen.

Die Parametrisierung für TMCF wurde von meiner Betreuerin Nadja Rüger vorgenommen [8]. Simulationen ergaben, dass sich die PFT-kumulierten Größen nach einem Kahlschlag schon nach 90 Jahren erholen, eine typische PFT-Mischung sich aber erst nach 300 Jahren einstellt.

Die für Brennholz typischen Arten befinden sich in den PFTs 4 und 6. Neben den schon bestehenden Holzfallstrategien wurde eine neue eingeführt, die aus oben genannten Gründen ohne Eingriffe wie Schleifschäden und Straßenbau auskommt.

Jeder Zelle wird anhand des höchsten Baumes ein Status zugeordnet: Ist er kleiner als 10 m, so befindet sich die Zelle im Gap-Stadium, ist er zwischen 10 und 25 m hoch im Building-Stadium, ist er größer als 25 m im Mature-Stadium. Ein großes Exemplar aus der ungenutzten PFT 5 reicht schon, um der Zelle den Mature-Status zu geben, darum ist er hier nicht sehr aussagekräftig.

Die Methode FindATreeToLog hatte bislang den dicksten Baum zurückgegeben, der in das Suchschema passte – mit dem neuen Parameter des maximalen Durchmessers hätte dies impliziert, dass auch die Holzfäller mit einem Maßband zu Werk gehen. Stattdessen werden jetzt die passenden Bäume zuerst in einem Vektor gesammelt und erst dann daraus einer zufällig gezogen.

#### IV. Ergebnisse und Diskussion

Im Anhang VI. sind die Simulationsergebnisse dargestellt:

- S. 15: ein Zeitraum von 1000 Jahren ohne Eingriff (*1000*)  
50 Jahre ohne Eingriff, danach 200 Jahre mit
- S. 16: einem Baum alle zwei Jahre (*50,200\*0,5*)
- S. 17: einem Baum pro Jahr (*50,200\*1*)
- S. 18: zwei Bäumen pro Jahr (*50,200\*2*)
- S. 19: zehn Bäumen pro Jahr (*50,200\*10*)

■	total
■	PFT 1
■	PFT 2
■	PFT 3
■	PFT 4
■	PFT 5
■	PFT 6

Neben einer Holzernte nach Anzahl ist auch eine gemäß einem vorgegebenen Stammvolumen möglich. Die Erntemenge würde in diesem Fall aber nur dann „konstanter“ verlaufen, wenn man ein NP-vollständiges Packproblem angeht (Bäume lassen sich nun mal nicht nur zur Hälfte fällen).

Da in den Inventurdaten Bäume mit einem dbh < 10 cm nicht erfasst wurden, bleibt der Bestand in den ersten 50 Jahren der Simulation unangetastet: So verbleibt genügend Zeit, damit diese kleineren Baumexemplare den Modellbestand auffüllen können. Dass dieser Zeitraum ausreicht, wird durch die Simulation (1000) gestützt, die gleichzeitig die natürliche Variabilität sichtbar macht.

Die PFTs 2, 4 und 6 scheinen großen Nachholbedarf zu haben und verdoppeln bzw. verdreifachen (PFT 4) ihre Stammzahl, hinsichtlich Grundfläche und Masse ändert sich aber wenig. Ganz anders bei PFT 5: Die Hälfte von Grundfläche und Masse geht verloren, dabei sinkt die Stammzahl kaum. Eine Überprüfung der Eingangsdaten widerlegt den Verdacht, dass senile, größere Exemplare überrepräsentiert wären. Diese „Abstoßungsreaktion“ bedarf noch einer Klärung. Insgesamt steigt die Stammzahl aller PFTs von 1300 auf 2000, die Grundfläche sinkt von 63 m<sup>2</sup>/ha auf 46 m<sup>2</sup>/ha und die Masse von 700 t/ha auf 500 t/ha. Es wäre fatal gewesen, wenn diese autochthone Dynamik später in den Szenarien irrtümlicherweise als anthropogene Dynamik interpretiert worden wäre.

Betrachtet man den gesamten Zeitraum, fällt auf, dass die PFTs 1 und 3 durchgängig kaum vorhanden sind und PFT 2 trotz höchster Stammzahl kaum zu Grundfläche und Masse beiträgt. Die Amplituden der kumulierten Größen machen etwa ein Siebtel bis ein Viertel des jeweiligen Mittelwertes aus (Stammzahl 1800-2300, Grundfläche 45-52 m<sup>2</sup>/ha, Masse 450-550 t/ha).

In den folgenden Szenarien mit Bewirtschaftung (50,200\*x) steigt die Stammzahl erneut an (bei 2 Bäumen pro Jahr auf über 3700/ha). Bei (50,200\*10) ist die Sägezahnkurve für PFT 6 ausgeprägter als für PFT 4: Zahlenmäßig gibt es zwar mehr Bäume in PFT 4 als in PFT 6, aber nur wenige haben einen dbh > 60 cm. So nimmt PFT 6 ab, wohingegen PFT 4 zunimmt: Das Regime des Holzfällens hat hier sogar eine förderliche Wirkung (vergleiche mit PFT-4-Mengen aus (1000)).

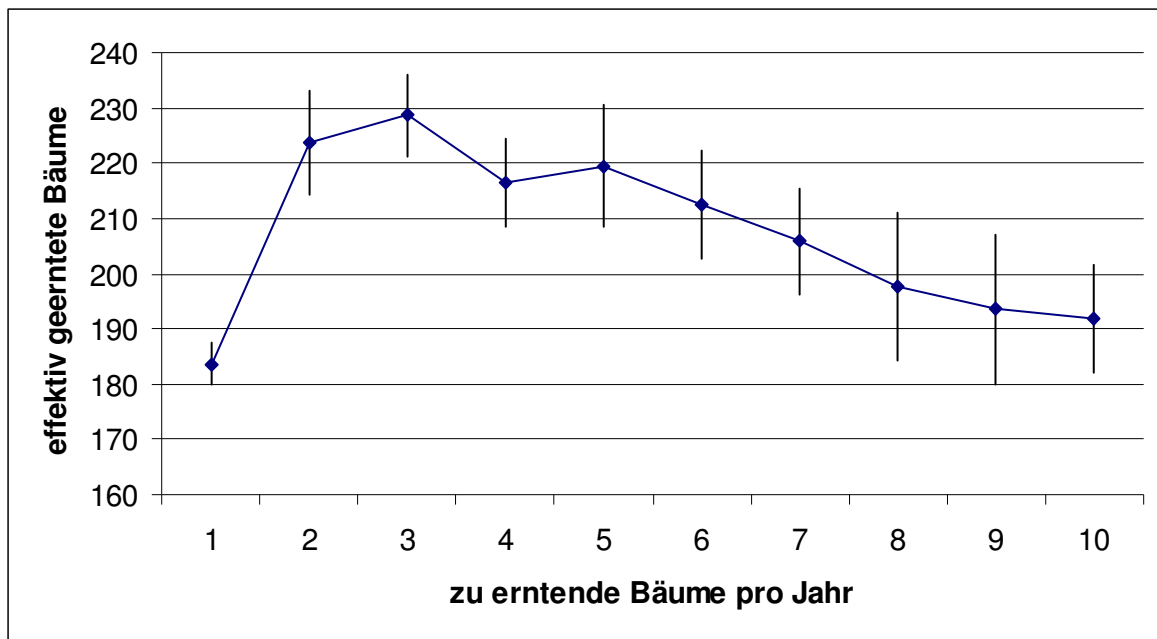
Nebenbei werden die Jahre gezählt, in denen nicht genug passende Bäume gefunden werden (die PFTs 4 und 6 enthalten dann nur noch Bäume mit einem dbh < 60 cm). Dann werden nicht etwa nur die gefundenen gefällt, sondern die Ernte ganz ausgesetzt. Dieses Ereignis ist ein erstes Indiz dafür, dass die bisherige Ernte nicht nachhaltig war. Die effektive Ernte und das erste solche Jahr sind in der folgenden Tabelle mit angegeben.

Der erfahrene Holzfäller würde natürlich nicht unverrichteterdinge den Wald verlassen, sondern seine Suchmaske erweitern, z.B. das Durchmesser-Intervall vergrößern oder sich auch anderen PFTs zuwenden. Dies hätte aber eine Interpretation der Simulation erschwert, da sich die Szenarienbedingungen gewandelt hätten. Andererseits: Wollte man einen dokumentierten historischen Verlauf (wie er für TMCF nicht vorliegt) mit jährlich wechselnden Entnahmen rekonstruieren, müssten noch Änderungen am Programm vorgenommen werden.

zu erntende Bäume pro Jahr	Jahr des ersten Problems	<- Standard-abweichung	Anzahl der Probleme	<- Standard-abweichung	effektiv geerntete Bäume
(50,200*1)	31	3,4	16,3	3,9	183,7
(50,200*2)	14,3	1,4	88,1	4,7	223,8
(50,200*3)	9,2	0,87	123,8	2,4	228,6
(50,200*4)	6,7	1,0	145,9	2,0	216,4
(50,200*5)	5,6	0,66	156,1	2,2	219,5
(50,200*6)	4,1	0,7	164,6	1,6	212,4
(50,200*7)	3,5	0,5	170,6	1,4	205,8
(50,200*8)	2,9	0,54	175,3	1,7	197,6
(50,200*9)	2,8	0,6	178,5	1,5	193,5
(50,200*10)	2,3	0,46	180,8	1,0	192

Für jedes Szenario wurden jeweils 10 Läufe durchgeführt, bei (50,200\*0,5) trat kein Engpass auf. Das Jahr des ersten Problems wird mit Beginn des Holzfällens gezählt und tritt bei erhöhter Erntemenge generell früher ein. Die jeweilige Standardabweichung ist mit aufgeführt und verdeutlicht, dass der einzelne Lauf auch ein anderes Bild abgeben kann (man vergleiche die ersten 50 Jahre auf den Seiten 16-19). Die effektiv geernteten Bäume haben ihr Maximum bei anvisierten 3 Bäumen pro Jahr. Diese Erntemethode könnte zu einer optimalen Ausprägung von Bestandeslücken führen, die den Nachwuchs fördert.

Die mit erhöhter Erntemenge erhöhte Standardabweichung im folgenden Graph kann als Randeffekt gedeutet werden: Es kann vorkommen, dass im Jahr 250 der Simulation gerade noch ein Schwung Bäume mitgenommen wird oder dass die letzten Jahre „verschwendete“ Wachstumsjahre sind.



Im Vergleich mit anderen Arbeiten zum selektiven Holzfällen erscheinen die dortigen Angaben zur Holzentnahme zu hoch gegriffen <sup>13</sup> oder die Produktivität des hier modellierten TMCF niedrig zu sein.

In der Diskussion im Projektkolloquium wurde angemerkt, dass eine stetige Holzentnahme über einen längeren Zeitraum einen empfindlichen Nährstoffverlust bedeuten würde. Dies ist tatsächlich kritisch zu sehen, da ein Großteil der Nährstoffe in tropischen Wäldern ständig in der Biomasse zirkuliert und der Boden nur wenig verfügbar machen kann <sup>14</sup>. Bei 200 geernteten Bäumen mit einem dbh > 60 cm (und somit mindestens 2,19 t organischer Trockensubstanz) käme man schon in den Bereich der initialen organischen Trockensubstanz von etwa 700 t/ha bzw. 500 t/ha nach 50 Jahren.

Für die 7-10-köpfige Familie wären demnach 3 Hektar für eine nachhaltige Bewirtschaftung ausreichend. Unter der vagen Annahme, dass 80 Mio. Mexikaner auf Brennholz als Brennstoff zugreifen bei einer Pro-Kopf-Fläche von 0,35 ha, müsste die Hälfte der gesamten Waldfläche mit der Produktivität des TMCF den Bedarf decken können.

<sup>13</sup> auf Madagaskar [5] weniger als 10 m<sup>3</sup>/ha\*a, im brasilianischen Amazonasbecken [9] 4-8 Bäume mit 30-50 m<sup>3</sup>/ha\*a

<sup>14</sup> Aus diesem Grund sind ja landwirtschaftliche Nutzflächen auch schnell ausgelaugt und man behilft sich mit der Dreifelderwirtschaft. Hier müsste man zu einer Drei“wälder“wirtschaft übergehen oder düngen (v.a. Phosphat und Kalium).

Abschließend eine Bemerkung zu einer anderen Fragestellung, der Regeneration von TMCF auf aufgegebenen Kaffeeplantagen. Intuitiv wäre die Regeneration unterhalb der Kaffeepflanzen verzögert, darüber aber fast ungehindert. Ob hierfür eine neue PFT sinnvoll wäre, ist fraglich, da sie mit einer maximalen Wuchshöhe von etwa 5 m aus dem Rahmen fallen würde <sup>15</sup>. Eine Arbeit <sup>16</sup> ermittelte auf einem Hektar in der Region Mixe im Staat Oaxaca 2000 Kaffeepflanzen bei einem Gesamtgewicht von 4,38 t, der mittlere Durchmesser am Grund wurde mit 4,2 cm gemessen. Eine andere Arbeit <sup>17</sup> stellt fest, dass sich die Kaffeepflanzen über die Beschattung durch andere Bäume eher unbeeindruckt zeigen oder wegen nachlassender Temperaturen sogar noch gefördert werden. So werden z.B. Inga-Bäume gezielt zur Beschattung eingesetzt.

## **V. Die Institution des UFZ**

Die vorliegende Arbeit entstand in der Abteilung „ökologische Systemanalyse“ (ÖSA) des Umweltforschungszentrums (UFZ) im Wissenschaftspark in Leipzig. Das UFZ besteht seit 1991 und beschäftigt mit seinen Zweigstellen u.a. in Halle und Magdeburg 780 Mitarbeiter. Es gehört der Helmholtz-Gesellschaft an, die 15 Zentren unterschiedlicher Thematik mit insgesamt 24000 Mitarbeitern umfasst.

Das Thema weckte mein Interesse, da sich schon mein erstes Referat an der Uni mit „Lebensformen der Holzpflanzen im tropischen Regenwald“ und ein weiteres mit Waldbewirtschaftungsformen (aber mit Schwerpunkt nemorale Wälder) befasste. Zudem war das Referat sehr erhellend, das meine Betreuerin vorab im Forschungsseminar hielt.

Eine Anekdote: Als ich draußen auf einer Bank im Innenhof des UFZ "modeling anthropogenic impacts on the growth of tropical rain forests" [7] las, bemerkte ich, dass auch sie aus Tropenholz gefertigt war. Und ein Intermezzo: Der 5000-m-Lauf der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik, der durch den Wissenschaftspark führte.

---

<sup>15</sup> Eine Abschätzung des LAI findet sich hier:

José Laércio Favarin, Durval Dourado Neto, Axel García y García, Nilson Augusto Villa Nova und Maria da Graça Guilherme Vieira Favarin (2002): Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. In: Pesq. agropec. bras. vol.37 no.6 Brasília June 2002

<sup>16</sup> QUEDNOW, Kristin (2002): Carbon stocks in soil and vegetation at different land use in a rural mountainous region in Mexico. Cottbus.

<sup>17</sup> van KANTEN, Rudolf F. (2003): Competitive interactions between *Coffea arabica* L. and fast-growing timber shade trees in Southern Costa Rica. Tropical Ecology Support Programme (TOEB). Eschborn.

## **VI. Literaturverzeichnis**

- [1] Alvarez-Aquino, Claudia (2002): Regeneration of tree species in Mexican cloud forest. Edinburgh.
- [2] Bruijnzeel, L.A. und Hamilton, L.S. (2000): Decision Time for Cloud Forests. In: IHP Humid Tropics Programme Series No. 13
- [3] Bubb, P., May, I., Miles, L., Sayer, J. (2004): Cloud Forest Agenda. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.  
Von:  
[http://www.unep-wcmc.org/resources/publications/UNEP\\_WCMC\\_bio\\_series/20.htm](http://www.unep-wcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/20.htm)
- [4] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1999): Schutz und Bewirtschaftung der Tropenwälder - Tropenwaldbericht der Bundesregierung 6. Bericht
- [5] Ganzhorn, J.U., Ganzhorn, A.W., Abraham, J.-P., Andriamanarivo, L. und Ramananjatovo, A. (1989): The impact of selective logging on forest structure and tenrec populations in western Madagascar. In: *Oecologia* (1990) 84: 126-133
- [6] Golicher, John Duncan (2001): The dynamics of disturbed Mexican pine-oak forest: A modelling approach. Edinburgh
- [7] Köhler, Peter (2000): Modelling anthropogenic impacts on the growth of tropical rain forests. Osnabrück.
- [8] Rüger, Nadja, Williams-Linera, Guadalupe und Huth, Andreas: Modeling the dynamics of tropical montane cloud forest in central Veracruz, Mexico
- [9] Uhl, Christopher und Vieira, Ima Célia Guimaraes (1989): Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: A case study from the Paragominas region of the state of Pará. In: *Biotropica* 21(2).
- [10] Williams-Linera, Guadalupe (2001): Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. In: *Biodiversity and Conservation* 11: 1825-1843, 2002

## **VII. Abbildungen der Simulationsergebnisse**

