

# Vegetationsökologie trockener und warmer Klimate SS 2002

## Skript zum Vorlesungsteil „Immerfeuchte Tropen“

PD Dr. Faensen-Thiebes

### VORBEMERKUNG:

Dies ist kein Skript, das den Stoff ausführlich darstellt, sondern lediglich eine Auflistung der für diesen Block wesentlichen Inhalte. Detailliert sind die einzelnen Probleme in den unter „7 Zitierte und Allgemeine Literatur“ aufgeführten Quellen nachzulesen.

### INHALT:

<b>1</b>	<b>Klimacharakteristik der immerfeuchten Tropen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Verbreitung tropischer immergrüner Wälder</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Biologische Besonderheiten der immergrünen Tropenwälder</b>	<b>5</b>
3.1	Struktur des tropischen Regenwaldes	5
3.2	Typen des Tropischen Regenwaldes	7
3.3	Die Artenvielfalt	9
3.4	Biologische Besonderheiten der Regenwaldarten	11
<b>4</b>	<b>Bergregenwälder</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Mangroven</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Nutzungen und ihre ökologischen Folgen</b>	<b>18</b>
6.1	Generelle Nutzungsstruktur	20
6.2	Forstliche Nutzung	22
6.3	Landwirtschaftliche Nutzungen	29
6.3.1	Brandrodungsfeldbau	29
6.3.2	Dauerfeldbau - Annuelle Kulturen	32
6.3.3	Dauerfeldbau - Perenne Kulturen	32
6.4	Agroforstwirtschaft	320
<b>7</b>	<b>Zitierte und Allgemeine Literatur</b>	<b>34</b>

## 1 KLIMACHARAKTERISTIK DER IMMERFEUCHTEN TROPEN

Es herrscht ein Tageszeitenklima, d.h. die jährlichen Schwankungen sind geringer als die täglichen (**Abbildung 2**). Jahresmitteltemperatur bei 25-27° C. Tageslänge immer nahezu gleich von 11 bis 13 Stunden; keine Dämmerung.

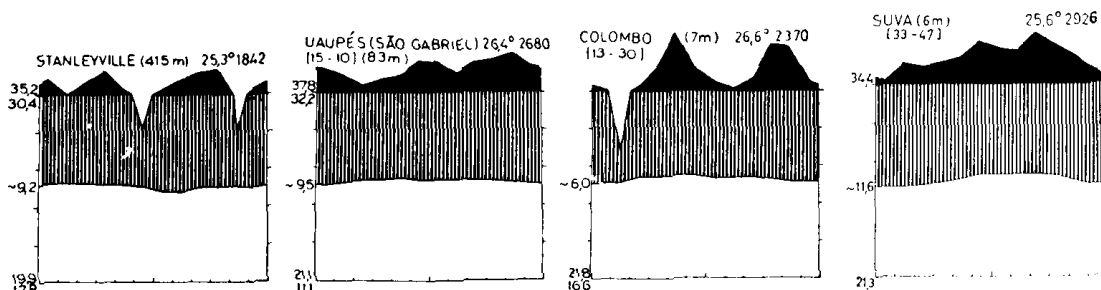


Abb. 1.1: Klimadiagramme von Stationen im tropischen Regenwald (Kongo, Brasilien, Ceylon, Fidschi).

Abbildung 1: Typische Klimadiagramme der Tropen (aus Walter und Breckle 1984)

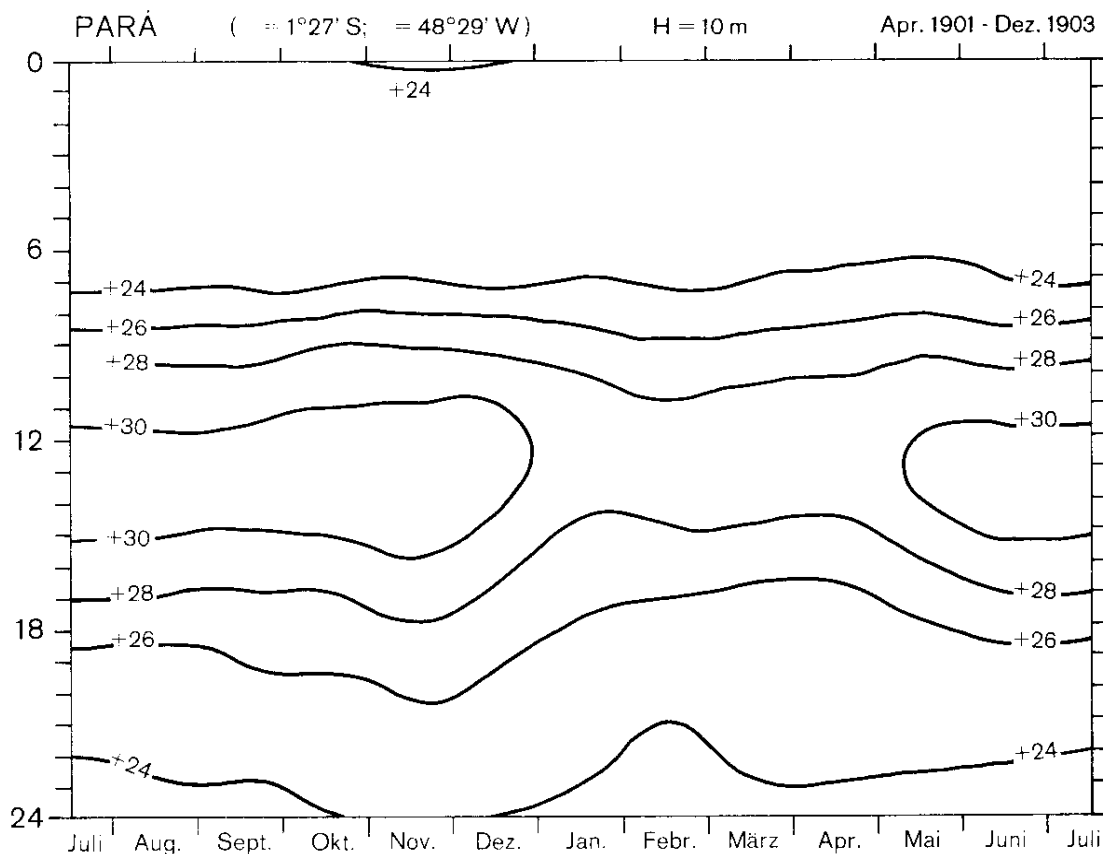


Abb. 177: Thermoisoplethendiagramm von Pará (Belem), Brasilien (nach TROLL und PAFFEN 1964). In allen Monaten liegen die mittleren Tagesmaxima und -minima in etwa gleich hoch (29–31 bzw. 24 °C). Die tageszeitlichen Unterschiede (5–7 °C) sind also deutlich größer als die jahreszeitlichen (= Äquatoriales Tageszeitenklima).

**Abbildung 2: Typischer tropischer Tages- und Jahrgang der Temperatur** (aus Schultz 1995)

Die Niederschläge fallen reichhaltig das ganze Jahr über mit nur kurzen Trockenzeiten (s. **Abbildung 1, Abbildung 3**).

Die Regen fallen aus Cumuluswolken, also lokalen Ereignissen, da die Luftdruckgegensätze in der Regel gering sind und große Luftbewegungen selten auftreten. Wenn sich Tiefdruckgebiete entwickeln sind sie sehr heftig (Taifune, Hurrikans); sie sind jedoch auf die Randlagen der immer feuchten Tropen beschränkt (ab ca. 10 ° nördlich). Die Niederschläge entwickeln sich vor allem durch die bei Sonnenhöchststand aufsteigenden Wolken, deswegen können Trockenzeiten dann auftreten, wenn die Zeiten zwischen zwei Sonnenhöchstständen zunehmen, wodurch die andere Zeit automatisch verkürzt wird. Aus den zwei Maxima der Niederschläge wird eine Regenzeit; die Länge der Trockenperiode nimmt somit mit der Entfernung vom Äquator zu, wobei allerdings die Topographie noch eine wesentliche Rolle spielt. (s. **Abbildung 4**).

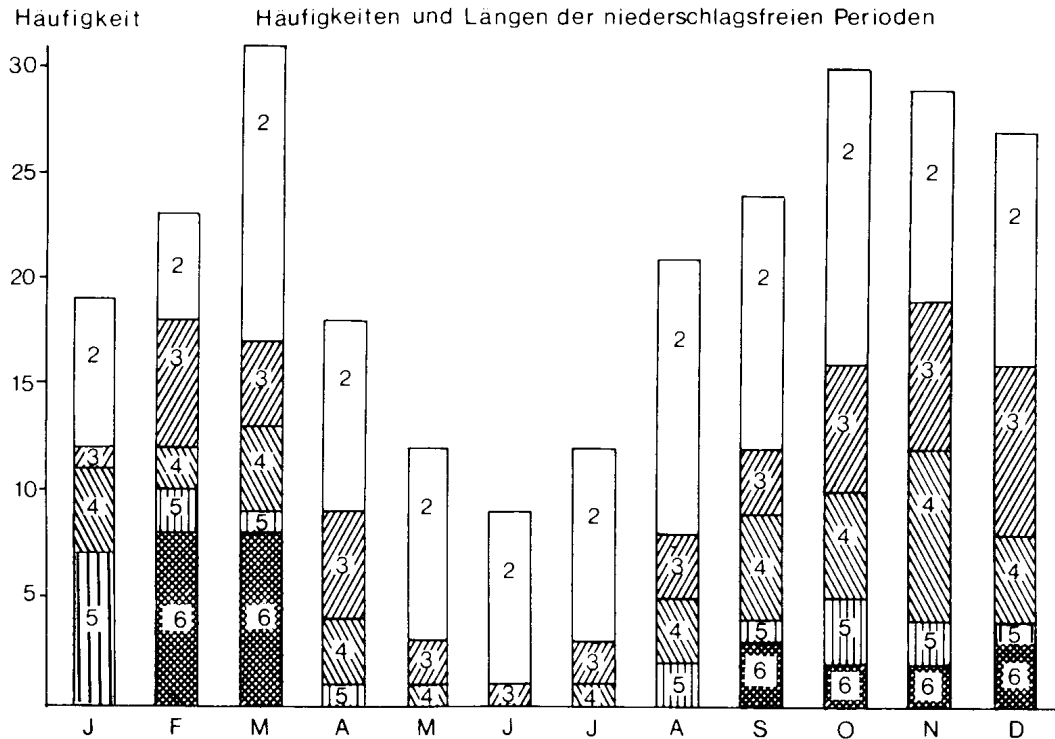


Abb. 1.6: Niederschlagsfreie Perioden in San Carlos de Rio Negro. Angegeben ist die Häufigkeit von 2-, 3-, 4-, 5- und 6-tägigen Perioden ohne Niederschlag je Monat für den Zeitraum 1971 bis 1978.

Abbildung 3: Häufigkeit verschieden langer Trockenperioden im Jahresverlauf (aus Walter und Breckle 1984)

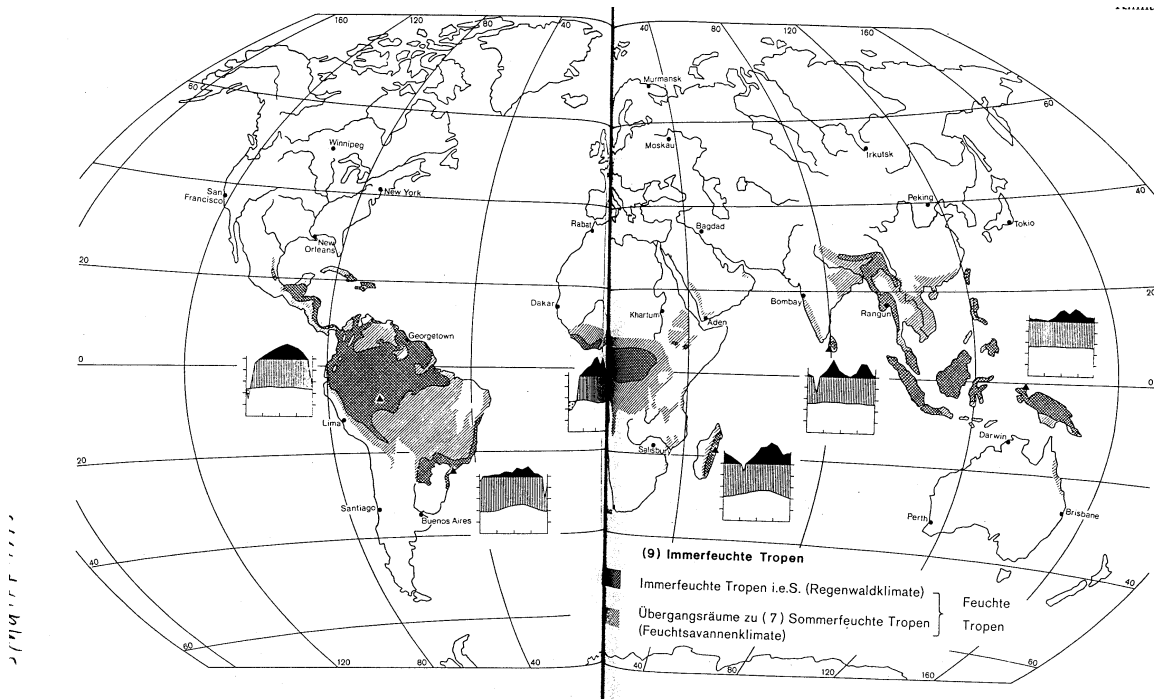


Abb. 176: Immerfeuchte Tropen. Die Verbreitung ist äquatorial, reicht aber dort, wo winterliche Passatregen oder monsonale Niederschläge (beide häufig orographisch unterstützt) in Ergänzung zu den sommerlichen Zenitalregen fallen, weiter polwärts, im Extrem sogar über 20° N und 20° S hinaus.

Abbildung 4: Die globale Verbreitung der immerfeuchten Tropen (aus Schultz 1995)

Die Summe der Jahresniederschlags beträgt mindestens 2000 mm, erreicht auch 10000 mm. Die Verteilung der Niederschläge ist oft wichtiger als die absolute Höhe (s. **Abbildung 5**).

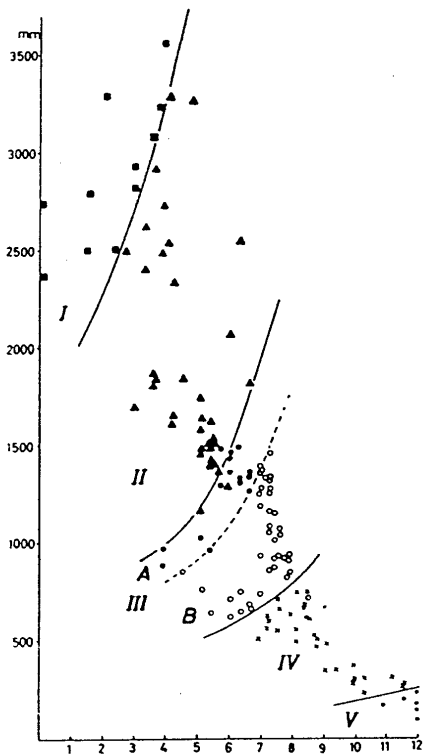


Abb. 34. Die Beziehungen zwischen der Waldvegetation und der Jahresniederschlagshöhe (Ordinate) sowie der Dauer der Dürrezeit in Monaten (Abszisse) in Indien.

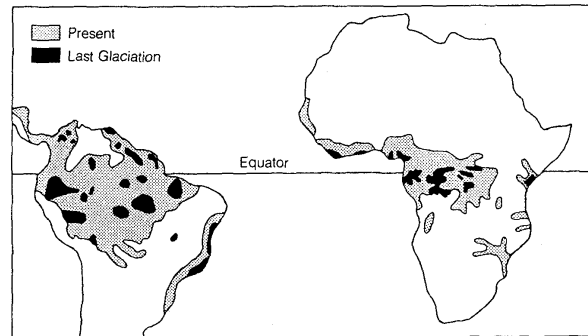
I immergrüner und II halbimmergrüner tropischer Regenwald, III Monsunwald (A feuchter, B trockener), IV Savanne (Dornbuschwald), V Wüste. Näheres im Text (nach H. WALTER aus einer Arbeit im Auftrag der UNESCO).

**Abbildung 5: Klassifizierung von Tropenwäldern und trockeneren Formationen** in einem Koordinatensystem aus Jahresniederschlägen und Anzahl trockener Monate (aus Walter 1979)

## 2 VERBREITUNG TROPISCHER IMMERGRÜNER WÄLDER

Entlang des Äquators bis ca. 10° Nord und Süd, jedoch mit sehr großen Variationen durch die Verteilung der Landmassen und von Gebirgen (s. **Abbildung 4**).

Im Quartär, d.h. während des Eiszeitalters mit seiner global erhöhten Trockenheit, deutlich geringere Ausdehnung des Regenwaldes (s. **Abbildung 6**).



**Figure 2.6** Extent of lowland tropical rain forest during the Wisconsin glacial maximum (approximately 18 000 years BP) in South America and Africa. (After Prance, 1982; Kingdon, 1970.) (Reproduced from J. Kingdon, *Island Africa. The evolution of Africa's rare animals and plants*, published by Collins, 1990 and from *Biological Diversification in the Tropics*, G. T. Prance (ed.), 1982, © Columbia University Press, New York; reprinted with permission of the publisher.)

**Abbildung 6: Ausdehnung des tropischen Tieflandregenwaldes während des Höhepunktes der letzten Vereisung** (aus Archibold 1995)

## 3 BIOLOGISCHE BESONDERHEITEN DER IMMERGRÜNEN TROPENWÄLDER

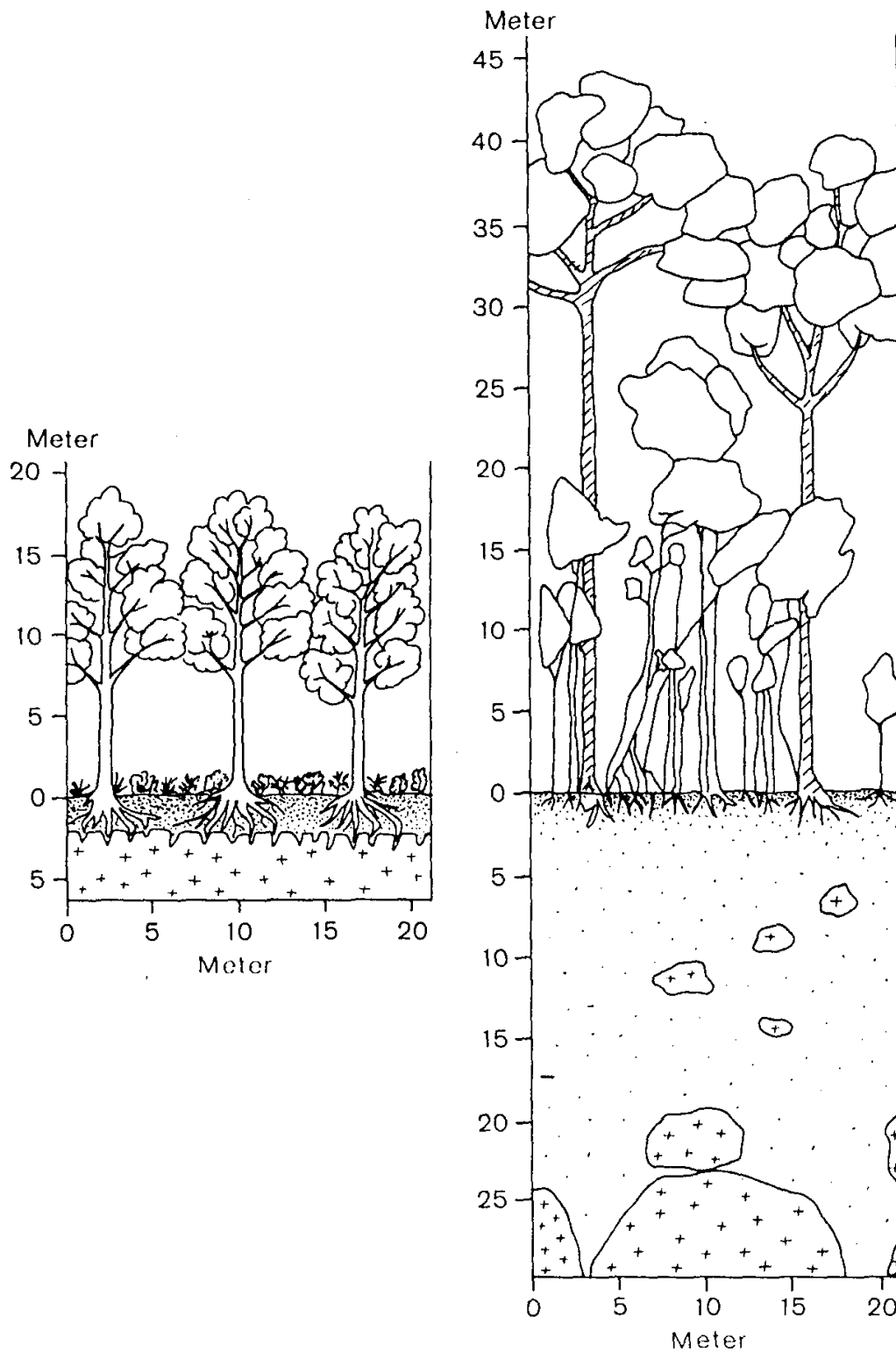
### 3.1 STRUKTUR DES TROPISCHEN REGENWALDES

Tropische Regenwälder: Pflanzenformation mit der **höchsten Biomasse**, extreme Höhen erreichend (Pazifische Wälder Oregons werden jedoch höher). Aufbau in Stockwerken, wobei das oberste Stockwerk keinen geschlossenen Kronenraum bildet, aber bis 60, teilweise bis 80 m hoch sein kann (**Abbildung 7**). Das geschlossene Kronendach liegt meist auf ca. 30-40 m Höhe. Die Kreisflächensumme (das ist die Summe aller Stammgrundflächen in einem ha Wald) liegt meist  $30\text{-}40\text{ m}^2\text{ ha}^{-1}$ . (Deutschland ca. 25-30).

Der typische Stockwerksaufbau geht mit Sprüngen der ökologischen Faktoreinheiten, vor allem im Wasserhaushalt. In den oberen Stockwerken kann leicht Trockenstreß auftreten, da 10° Übertemperatur des Blattes bei 30° Lufttemperatur zu erheblichen Sättigungsdefiziten führt. (**Tabelle 1**)

Temperatur	Sättigungsdampfdruck	Temperatur	Sättigungsdampfdruck
20° C	23,4 mb	30° C	42,4 mb
30° C	42,4 mb	40° C	73,8 mb
Differenz:	19,0 mb	Differenz:	31,4 mb

**Tabelle 1: Trockenstreß an Blättern der obersten Stockwerke** durch 10° Übertemperatur der Blätter gegenüber der Umgebungsluft. Da das Blattinnere wasserdampfgesättigt ist, ist der Dampfdruck gleich dem Sättigungsdampfdruck der entsprechenden Blattemperatur. Wegen des exponentiellen, nichtlinearen Verhaltens der Dampfsättigungskurve der Luft bewirken 10° Übertemperatur bei 30° C Lufttemperatur in den Tropen mit 31,4 mb einen wesentlich höheren Wasserstreß als bei 20° C von nur 19,0 mb.



**Abbildung 7: Schematische Profile eines tropischen Regenwaldes und eines sommergrünen Waldes.** Für den Regenwald ist die größere Wuchshöhe, der mehrstöckige Waldaufbau, die wenig auffällige Krautschicht, die geringe Durchwurzelungstiefe und die Entwicklung eines tiefgründigen Bodens über einer mächtigen Gesteinszersatzzone charakteristisch (Abb. 181 aus Schultz 1995) A. Fae.-Thie.: Man beachte jedoch, dass das Bild des sommergrünen Waldes arg verfälscht ist: Unsere Laubbäume erreichen 30 m Höhe, und der naturnahe sommergrüne Wald ist ebenfalls mehrstöckig (1. und 2. Bauschicht und Strauchschicht sind außerhalb der Forstwirtschaft die Regel).

### 3.2 TYPEN DES TROPISCHEN REGENWALDES

Die Tropenwälder lassen sich vor allem in Bezug auf die Wasserversorgung differenzieren, die stark von Relief und Höhenlage bestimmt wird (**Abbildung 8, Tabelle 2**)

Klima	Grundwasser	Lage	Boden	Höhe über NN	Waldformation	
Immerfeucht	tief	Inland	Zonale Böden	bis 1200	1. Immergrüner tropischer Tiefland-Regenwald	
				1200-1500	2. Tropischer unterer Bergregenwald	
				1500-3000	3. Tropischer oberer Bergregenwald	
				> 3000	4. Tropischer subalpiner Wald	
			Podsolierter Sandboden	Meist Tiefland	5. Heidewald	
			Kalkstein	Meist Tiefland	6. Wald über Kalkstein	
			Ultrabasische Gesteine	Meist Tiefland	7. Wald über ultrabasischem Gestein	
	Küste			8 Strandvegetation		
	hoch (wenigstens zeitweise)	Salzwasser			9. Mangroven	
		Brackwasser			10. Brackwasserwald	
		Süßwasser	Oligotrophe Torfe		11. Torf-Sumpf-Wald	
				Eutrophe Böden	Fast immer nass	12 a. Süßwasser-sumpf-Wald
			Periodisch nass	12 b. Saisonaler Sumpfwald		
	Saisonal trocken	Gemäßigte Trockenheit				13. Tropischer halbimmergrüner Wald
		Ausgeprägte Trockenheit				14. Tropischer feuchter, laubwerfender Wald
					15. Andere Formationen zunehmenden trockenem Klimas	

**Tabelle 2: Die wichtigsten Waldformationen des tropischen Fernen Ostens;** 1-13: Tropische Regenwälder; 14-15 Monsun-Wälder (nach Whitmore 1975)

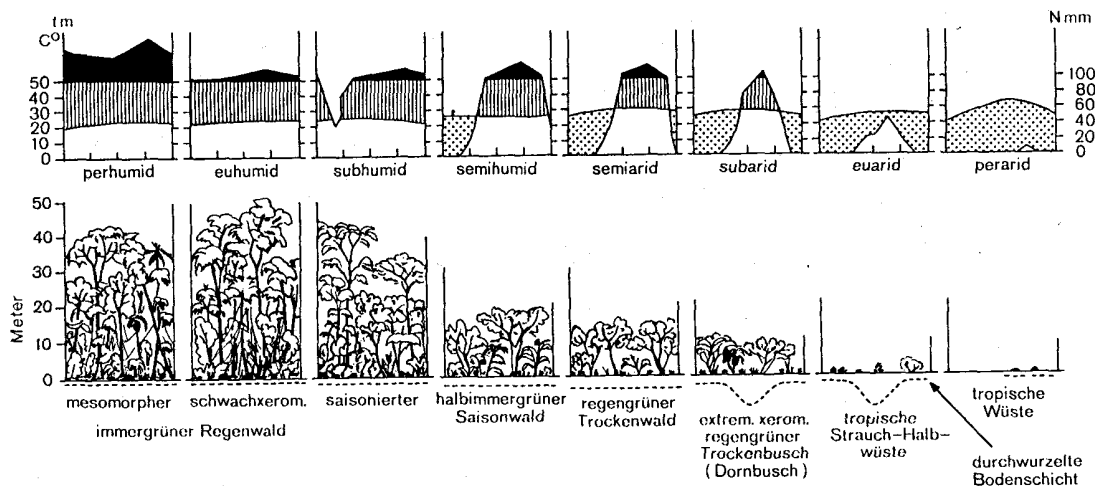


Abb. 182: Klima- und Vegetationssequenz der Tropenzone vom humiden bis zum ariden Bereich (am Beispiel des peruanischen Andenvorlandes) (aus STRASBURGER 1983, S. 1036).

**Abbildung 8: Änderung der Vegetation der Tropen mit zunehmender Trockenheit** (aus Schultz 1995)

**Mehr als 70% der Arten sind Bäume**, fast alle immergrün, in den unteren Lagen Hygrophyten, in den oberen Mesophyten mit effektiveren Verdunstungsschutz. Die Kräuter spielen eine untergeordnete Rolle, sind aber dann hoch wüchsig (Bananen, Zingiberaceae bis 6 m Höhe).

Waldtyp / Höhenlage	Baumarten/ha
Immergrüner Regenwald	90
Regengrüner Feuchtwald	60
Regengrüner Trockenwald	36
Dornbuschwald	11
2000-2600 m NN	56
2600-2800 m NN	38
2800-3200 m NN	15

**Tabelle 3: Artenreichtum in Abhängigkeit von der Wasserversorgung und von der Höhenlage.** Insgesamt ist die Artenzahl des Beispiels gering gegenüber anderen Erhebungen (Beisp. Venezuela nach Walter und Breckle 1984)

**3.3 DIE ARTENVIELFALT**

Artenvielfalt extrem höher als in gemäßigten Breiten (ca. 100-200 Arten/ha bei insgesamt 200-400 Stämmen/ha); wird als biologisch extrem wertvoll angesehen, erschwert aber eine genaue Bestandsaufnahme, so daß pflanzensoziologische Untersuchungen und Klassifikationen in mitteleuropäischem Sinne völlig unmöglich sind. Außerdem ergeben strukturelle Beschreibungen ebenfalls gute Klassifikationen (vgl. **Abbildung 10**) (Werger 1977, Werger und Sprangers 1982). Diese strukturellen Klassifikationen tropischer Wälder haben eine lange Tradition; schon Richards et al. (1940) erarbeiteten für die British Ecological Society eine einheitliche Nomenklatur und Klassifikation tropischer Wälder: Im Bewußtsein, daß das lediglich provisorisch sein kann angesichts des geringen Wissens um diese Wälder.

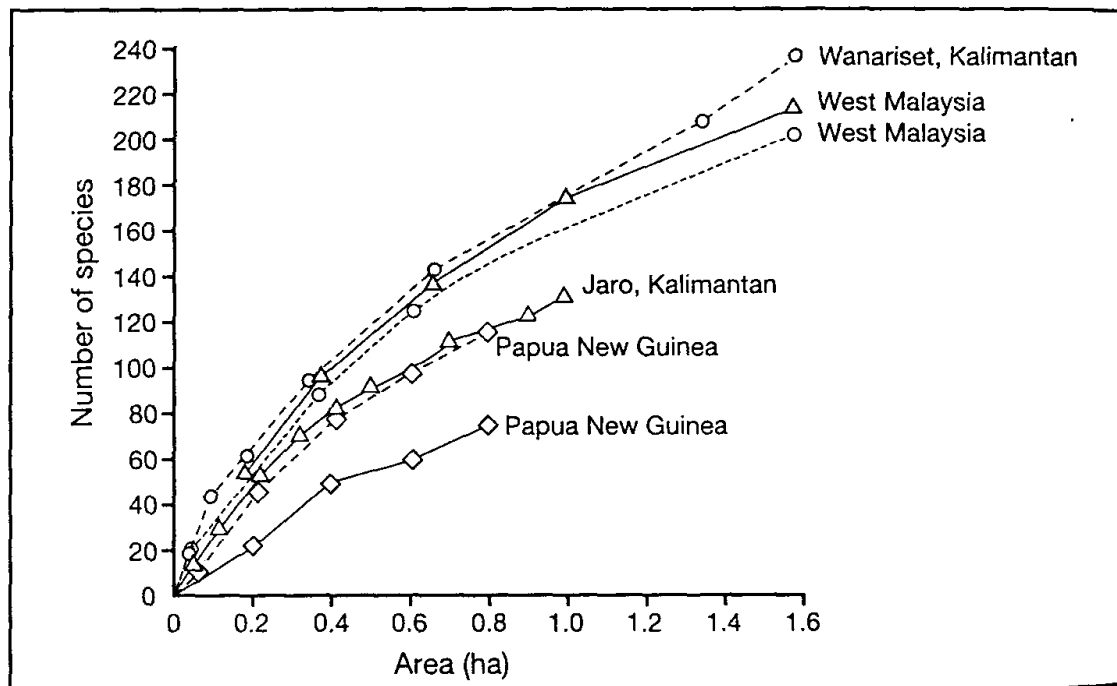


Ellenberg und Mueller-Dombois (1967) erstellten die Legende einer weltweiten Vegetationskarte (1:1 Mio.); sie enthält aber auch Formationen, die nur kleinräumiger und deswegen nur auf größeren Maßstäben erkennbar sind. Auch diese bedient sich der strukturellen Klassifikation.

**Gründe für die hohe Artenzahl** liegen auch in der Geschichte der Regenwälder. Die Isolierung von Regenwaldfragmenten durch trockene Formationen während der Eiszeiten mag die Bildung von Arten verstärkt haben (vgl. **Abbildung 6**). Früher wurde die lange zeitliche Konstanz der Regenwälder als Ursache der Artenvielfalt angesehen. Heute wird dies eher mit der Existenz minimaler Störungen in Verbindung gebracht: diese Störungen verhindern die Dominanz einzelner Arten, da die Umweltbedingungen sich dadurch – wenn auch nur minimal – ändern. Zu diesen Störungen zählen insbesondere Lücken durch zusammenbrechende, große Bäume (Denslow 1987).

Darüberhinaus sind regionale Unterschiede der Artenvielfalt von Bedeutung (**Abbildung 9**).

Altersbedingter (200-250 Jahre alt geschätzt, mangels Jahrringen) **Zusammenbruch** von einzelnen Stämmen aus der oberen Baumschicht führt zu Lücken, auf denen, wenn sie sehr groß sind, zunächst Arten der Sekundärwälder aufkommen. Später werden diese von den „Klimax“-Arten verdrängt.



**Figure 4.1.** Species-area curves for small plots in tropical lowland evergreen rainforest.

Source: Whitmore 1984a

**Abbildung 9: Arten/Flächen Kurven für Regenwälder in SE-Asien:** Regionale Unterschiede (Mac Kinnon et al. 1996)

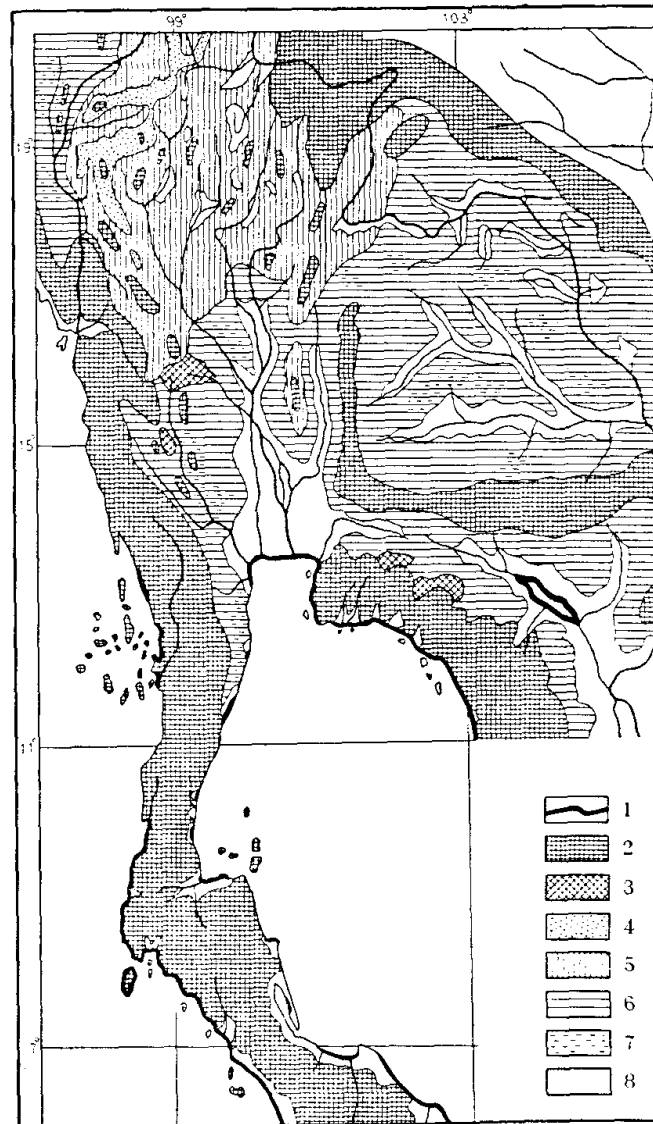


Fig. 4. Vegetation map of Thailand by Credner (redrawn from ZIMMERMAN 1937). 1: Mangrove. 2: Tropical rain forest and evergreen hill forest of northern Thailand. 3: Evergreen monsoon sclerophyllous forest. 4: Pine-oak mixed forest. 5: Monsoon forest as dominant regional formation. Area of teak production. 6: Dry monsoon forest as dominant regional formation. 7: Thorn scrub and dry bamboo forest, mixed with dry monsoon forest. 8: Rice fields on alluvial plains.

**Abbildung 10: Ein Beispiel für eine etwas differenzierte Vegetationskarte** von Credner zeigt Thailand in den 30er Jahren (abgedruckt in Ogawa et al. 1961).

### 3.4 BIOLOGISCHE BESONDERHEITEN DER REGENWALDARTEN

Viele Arten haben **Samen** mit nur sehr begrenzter Lebensdauer (Dipterocarpaceen 2-3 Wochen, Leguminosen bis zu einem Jahr), jedoch auch als Keimlinge können nur sehr wenige unter den extrem ungünstigen Lichtbedingungen durchhalten. (Problem bei der „Aufforstung“, da Saatgut bzw. Pflanzgut schwer oder meist gar nicht verfügbar).

**Individuelle Rhythmik**, da die Jahreszeiten keinen Rhythmus vorgeben; dabei können dann aber geringe Schwankungen von Tageslänge, Niederschlägen oder Temperatur dennoch eine Periodizität synchronisieren. Alle Blätter werden irgendwann abgeworfen, und da dies manchmal so geschieht, daß die neuen Blätter erst nach dem Fall der alten gebildet werden, ist der Übergang von immergrün zu laubwerfend gleitend. Aus den gemäßigten Breiten eingebrachte Bäume verlieren ihre Rhythmik nach einer Weile und fruchten, blühen und werfen Laub oft gleichzeitig an verschiedenen Zweigen.

**Schüttellaub** entsteht dadurch, daß das Laub sich offen, ohne den Schutz durch Knospen entfaltet. (vgl. **Abbildung 11**)



**Abbildung 11: Schüttellaub:** die Blätter entwickeln sich ohne schützende Knospen (aus Grabherr 1997)

Die Blätter der oberen Kronen sind klein und dick, was zu mindest auf eine leicht angespannte Wasserversorgung schließen läßt. Dies wird bestätigt durch die Betrachtung des Dampfdrucks bei Übertemperaturen von 10°, auch im Vergleich zu den gemäßigten Breiten (vgl. **Tabelle 1**).

Weitere **morphologische Besonderheiten:**

- Unter dem Kronenansatz kaum Verzweigungen
- Blätter mit Trüfelspitzen (ob dies wirklich eine ökologische Funktion hat ist nicht geklärt)
- Dünne Rinde, kaum Borke
- Stelz- und Brettwurzeln vgl. (**Abbildung 12**)
- Geringe Wurzelmasse
- Flach streichende Wurzeln
- Kauliflorie (Blüten - und später Früchte – entspringen direkt dem Stamm, wie beim Kakao; dies hängt teilweise mit den besonders großen Bestäubern bzw. Fruchtverbreitern – wie Flughunden – zusammen) (s. **Tabelle 4, Tabelle 5**)

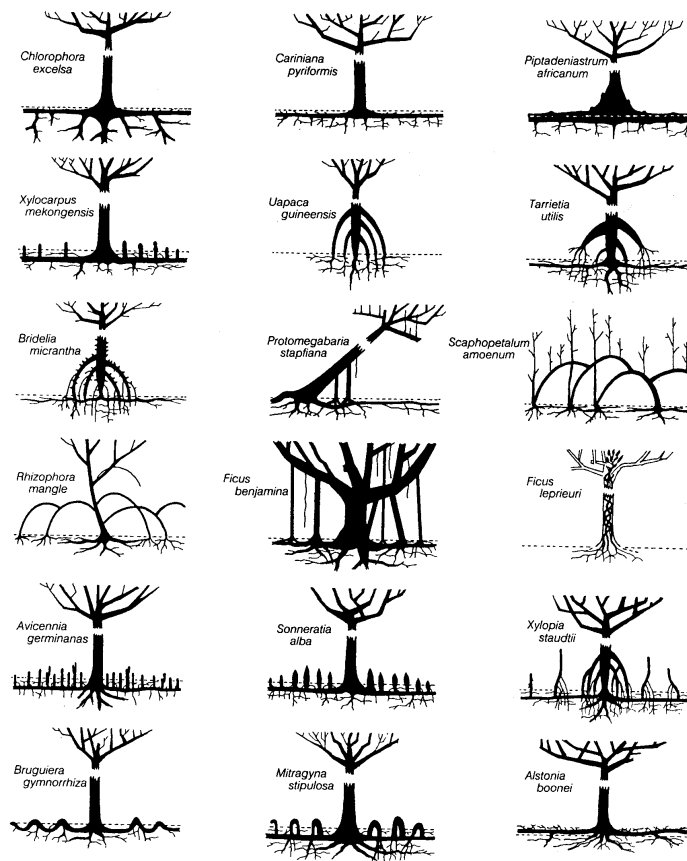


Figure 2.20 Characteristic root systems of tropical trees. (After Jenik, 1978.) (Reproduced with permission from J. Jenik, Roots and root systems in tropical trees: morphologic and ecologic aspects, in *Tropical Trees as Living Systems*, eds P. B. Tomlinson and M. H. Zimmermann; published by Cambridge University Press, 1978.)

Abbildung 12: Wurzelformen tropischer Bäume (aus Archibold 1995)

Table 2.4 Pollination systems for plants in different seral stages in moist lowland forest in Costa Rica. Values given as percentages except in mature forest where L = lower, S = similar, H = higher than in seral communities (after Opler *et al.*, 1980a)

Pollinator system	6 mo	1 yr	2 yr	3 yr	Mature forest
Wind	38	22	8	6	L
Small bees	34	40	40	38	S
Medium bees/wasps	7	18	23	19	L
Beetles	0	4	0	3	H
Small butterflies/moths	21	11	10	9	S
Large butterflies/moths	0	4	5	3	S
Large bees	0	0	3	6	H
Hummingbirds	0	4	10	10	L
Bats	0	0	0	3	H

(Reproduced with permission from P. A. Opler, H. G. Baker and G. W. Frankie, Plant reproductive characteristics during secondary succession in neotropical lowland forest ecosystems, *Biotropica*, 12 (supplement), 1980.)

Tabelle 4 Bestäubungssysteme unterschiedlich alter Sukzessionsstadien in den Tropen (aus Archibold 1995)

**Table 2.5** Seed dispersal in tropical forests (after Howe and Smallwood, 1982)

	Pptn (mm)	Plant form (and number of sp.)	Vertebrates Wind Water Self Unknown				
			(Percentage of species)				
<b>Moist forests</b>							
Colombia	5530	trees (133)	89	3	–	–	8
Costa Rica	4000	canopy trees (79)	85	13	–	–	3
		sub-canopy trees (82)	98	2	–	–	–
Ecuador	2650	canopy trees (145)	93	4	1	2	–
		sub-canopy trees (96)	91	5	2	2	–
		lianas (83)	63	33	1	4	–
Panama	2650	canopy trees (291)	78	16	1	4	–
		sub-canopy trees (131)	87	5	3	5	–
<b>Dry forests</b>							
Costa Rica	1800	canopy trees (138)	64	29	1	6	–
		sub-canopy trees (60)	77	8	< 1	15	–
		lianas (49)	22	71	< 1	6	–

(H. F. Howe and J. Smallwood. Ecology of seed dispersal; reproduced, with permission, from the *Annual Review of Ecology and Systematics*, 13, © 1982 by Annual Reviews Inc.)

**Tabelle 5 Fruchtverbreitungssysteme** unterschiedlicher tropischer Waldbestände (aus Archibold 1995)

Als Bestäuber und Fruchtverbreiter treten im Regenwald ganz andere Tiergruppen gegenüber den gemäßigten Breiten auf. (s. **Tabelle 4, Tabelle 5**).

Das Regenerationsverhalten ist in saisonalen Wald anders als im asaisonalen: im asaisonalen stehen im Unterstand schon die Jugendformen der Climax-Arten, im saisonalen aber nicht, da diese dort nach ca. einem Jahr im Schatten mangels Wasser absterben. Dies führt zu einer Sukzession über Pioniergehölze im saisonalen Wald, wohingegen im asaisonalen keine ausgeprägte Pionierphase in Lücken auftritt. (Ashton 1988)

Weitere wichtige **Lebensformen** im Regenwald:

**Lianen** - mit verschiedenen Kletterformen wie Spreizklimmer (Calamus, Rattan), Wurzelkletterer (Vanille, viele Araceae), Rankenpflanzen. Entweder wachsen sie mit den Bäumen in die Höhe und bleiben dann dort, da auch einzelne zusammenbrechende Stützbäume sie nicht dazu bringen, abzustürzen. Dazu muß aber das Holz sehr elastisch sein, um zum einen mit zu wachsen, zum anderen um nicht starr zu bleiben. Besonders gut realisiert durch einzeln liegende Holzstränge im Parenchym. Besonders häufig in Lichtungen, an Flußläufen oder in Plantagen.

**Hemi-Epiphyten** fangen entweder als Epiphyten an und wachsen dann mit Luftwurzeln in den Boden (bekanntes Beispiel ist die Würgefeige), oder sie fangen als Liane an, werden dann aber zu Epiphyten, da der Hauptspross abstirbt (Viele Araceen).

**Epiphyten** sind in den gemäßigten Breiten im Prinzip auf Moose und Flechten beschränkt. In den Tropen gehören viele Samenpflanzen dazu, vor allem aus den Familien Bromeliaceae (nur Neotropis) und Orchidaceae. Da die Epiphyten wirklich Wasser und nicht nur feuchte Luft benötigen, sind sie da besonders häufig, wo ein ständiger Nieselregen herrscht, d.h. in der Nebelwaldzone. In den Tieflandregenwäldern sind sie deutlich seltener.

Die **Anzahl der Bäume** nimmt rapide mit der Höhenklasse ab; wenn auch nicht viele Daten vorliegen, so ist doch aus Tabelle 6 ersichtlich, daß die Bäume > 30 m weniger 0,1% der Baumanzahl stellen, aber 39 % der oberird. Biomasse ausmachen.

Höhenklasse (m):	< 1,5	1,5 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	> 30	Gesamt
Anzahl Individuen	83.650	7.450	1.525	740	335	80	93.780
Biomasse (kg ha <sup>-1</sup> ):							
Oberirdisch	1.449	7.333	13.218	56.079	336.104	267.196	685.379
Grobwurzeln	439	1.542	1.951	6.002	23.441	15.626	
Gesamt	1.888	8.875	15.169	62.081	359.545	282.822	940.419*

\* incl. undifferenzierter Feinwurzeln

**Tabelle 6: Höhenklassen und Biomasse** (nicht getrocknet) eines zentralamazonischen Waldes. (Nach Daten aus Archibold 1995)

	Oberirdisch	Unterirdisch	Gesamt
Thailand <sup>a</sup>	331	32	363
Kambodscha <sup>a</sup>	321	61	382
Neu Guinea <sup>b</sup>	301		
Brasilien <sup>b</sup>	406		
Ghana <sup>b</sup>	233		
Bereich und Mittel div. Untersuchungen <sup>c</sup>			300-650 500
Grunewald <sup>d</sup>	220	90	310

**Tabelle 7 Biomassen [t ha<sup>-1</sup>]; tropischer Regenwälder und des Grunewaldes zum Vergleich** (Daten von Walter und Breckle 1984<sup>a</sup>, Archibold 1995<sup>b</sup>, Schultz 1988<sup>c</sup>, Faensen-Thiebes et al. 1996<sup>d</sup>)

Tab. 46. Die Mineralstoffgehalte der Phytomassen tropischer Regenwälder in Prozent der gesamten Mineralstoffvorräte (von Vegetation und Boden); zum Vergleich entsprechende Angaben zu zwei regengrünen Wäldern der Sommerfeuchten Tropen und zwei sommergrünen Mischwäldern der Feuchten Mittelbreiten (aus PROCTOR 1983).

		Phytomasse		Erfasste Bodentiefe (cm)	Mineralstoffgehalte der Phytomasse in % der Gesamt-vorräte des Ökosystems <sup>2</sup>					Autoren
		oberird. (t ha <sup>-1</sup> )	unterird. (t ha <sup>-1</sup> )		N	K	Ca	Mg	P	
Neuguinea	unterer Bergwald	310	40	0-30	4	66	29	26	63	EDWARDS und GRUBB 1982
Puerto Rico	unterer Bergwald	197	78	0-50	10	81	40	48	54	
Kolumbien <sup>1</sup>	Tieflandswald	185		0-50	11	65	78	65	9	FÖLSTER, DE LAS SALAS und KHANNA 1976
Kolumbien <sup>1</sup>	Hangwald	326	-	0-50	15	65	30	50	15	
Kolumbien <sup>1</sup>	16-j. Sek.wald	203	-	0-30	9	81	75	63	19	GOLLEY et al. 1975
Panama	Tieflandswald	316	11	0-30	-	39	16	14	87	
Venezuela	Bergwald	348	56	0-40	18	76	53	57	9	GRIMM und FASSBENDER 1981
Venezuela <sup>1</sup>	Tieflandswald	398	-	0-50	33	81	65	43	11	HASE und FÖLSTER 1982
Brasilien	Tieflandswald	406	67	0-30	40	88	100	91	47	KLINGE 1976
Ghana	Tieflandswald	233	54	0-30	29	56	46	52	80	NYE 1961
Indien	Trockenwald	78	22	0-30	19	55	-	-	31	SINGH und MISRA 1978
Indien	Trockenwald	71	19	0-30	20	53	-	-	28	
Belgien	Eichen-Mischwald	121	35	-	-	65	8	39	-	DUVIGNEAUD und DENAEYER-DE-SMET 1971
					11	1	1	2	5	
England	Eichen-Mischwald	128	75	-	-	58	43	61	55	SATCHELL 1971
					11	2	33	1	5	

<sup>1</sup> Die Mineralstoffgehalte der unterirdischen Phytomassen wurden nicht berücksichtigt.

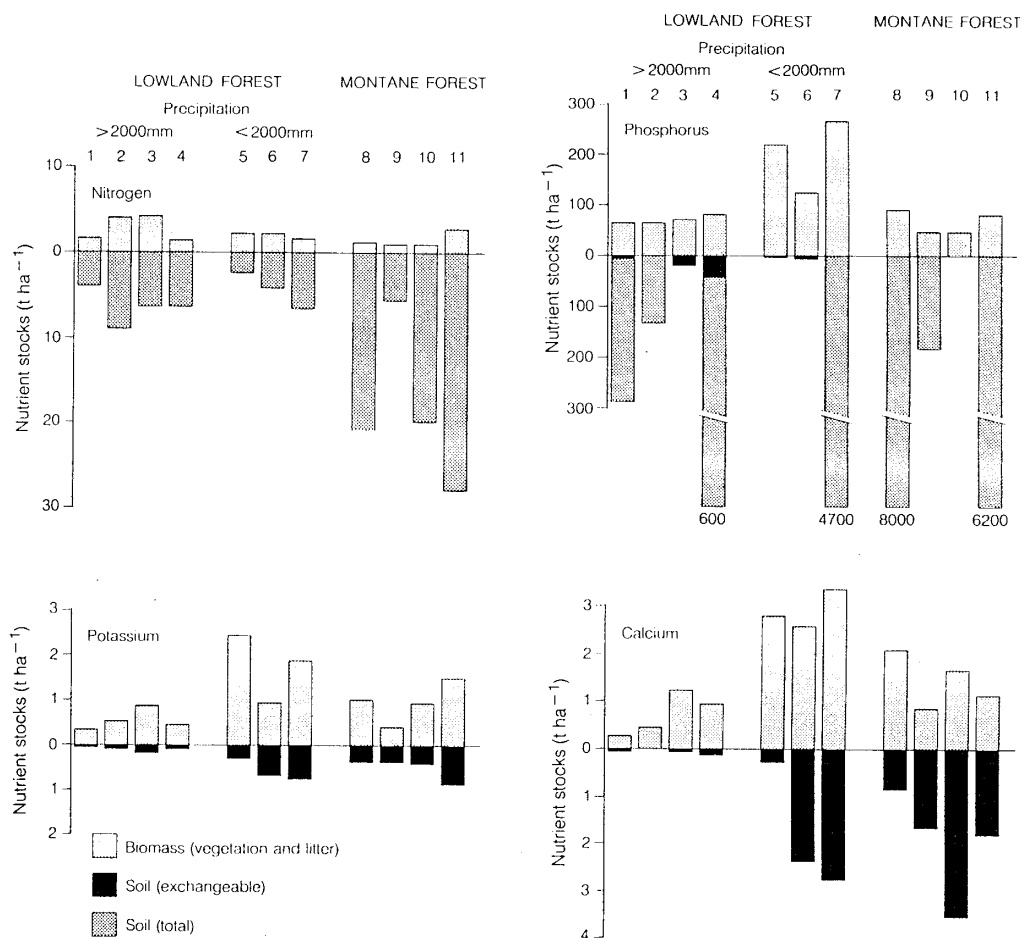
<sup>2</sup> Zur Kalkulation der Mineralstoffgehalte von Böden: In den meisten Fällen wurden nur die in der austauschbaren oder (bei Phosphor) löslichen Fraktion vorliegenden Nährelemente berücksichtigt; falls mit den Gesamtgehalten (also einschl. der in mineralischer oder organischer Bindung vorliegenden Nährelemente) gerechnet wurde (so immer bei N) sind die Prozentzahlen kursiv gedruckt.

**Tabelle 8: Phytomassen und Mineralstoffgehalte tropischer Wälder** (aus Schultz 1995)

Die **Biomassen** verschiedener Waldbestände sind im Allgemeinen höher als in den gemäßigten Breiten: 310 t/ha oberirdisch, 415 t/ha org. Bodensubstanz (Tabelle 7).

Der **Streuabbau** verläuft wegen der ständig ausreichenden Wärme und Feuchtigkeit sehr schnell, es wird keine Humusaufgabe gebildet und dementsprechend sind die N-Vorräte im Boden gering. Bei starker Versumpfung und damit Sauerstoffabschluß können sich aber sogar Torfe bilden

Ein gängiges Urteil über die Regenwälder lautet, daß die **Mineralstoffe** weitestgehend in der Biomasse gebunden sind, die Bodenreserven aber gegen Null gehen. Sieht man sich Vergleichswerte aber genauer an (**Tabelle 8**), so sieht man, daß es durchaus Standorte in den Tropen gibt, deren in der Phytomasse gebundener Mineralstoffanteil mit den der gemäßigten Breiten vergleichbar ist. Kalium und Calcium aber liegen vor allem bei hohen Niederschlägen in extrem geringen Gehalten im Boden vor (**Abbildung 13**).



**Figure 2.46** Nutrient stocks in living biomass and litter and in soils of tropical forests. The locations of the lowland forest sites are (1) and (7) Venezuela; (2) and (3) Brazil; (4) Ivory Coast; (5) Thailand; (6) Ghana. The montane forest sites are located in (8) Costa Rica; (9) Colombia; (10) New Guinea; (11) Venezuela. (Alter Jordan, 1985.) (Redrawn with permission from C. F. Jordan, *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems*; published by John Wiley and Sons, 1985.)

**Abbildung 13: Nährstoffvorräte** in Biomasse und Streu und in Böden tropischer Wälder (aus Archibold 1995)

## 4 BERGREGENWÄLDER

Der Regenwald ist in typischer Form bis zu einer Höhe von ca. 1000 m Meereshöhe entwickelt (s. **Tabelle 2**). Die Änderungen die sich darüber hinaus mit der Höhe ergeben sind in der **Tabelle 9** dargestellt. Wegen der höheren Luftfeuchte bei niedrigeren Temperaturen und weil sie oft in die Wolkenzone ragen, ist die Wasserversorgung der Montanwälder sehr günstig, was sich in hoher Zahl von Epiphyten niederschlägt. Floristisch auffällig ist das vermehrte Auftreten von Baumfarnen und das Zurückbleiben von Palmen in dieser kühleren Höhenlage. Die Wälder werden als Nebelwälder bezeichnet, wenn sie sich in der Hauptwolkenzone befinden. Oberhalb dieser Zone treten stärkere Trockenheiten auf.

Table 17.1. *Structural and physiognomic characteristics of rain-forest formations on tropical mountains*

	Formation type			
	Lowland tropical	Lower montane	Upper montane	Subalpine
<i>Trees</i>				
Height (m) <sup>a</sup>	25–45 (67)	15–33 (37)	15–18 (26)	1.5–9 (15)
Buttresses	Frequent, often large	Infrequent; if present usually small	Usually none	None
<i>Leaves</i>				
Size <sup>b</sup>	Mesophyll	Mesophyll and notophyll	Microphyll and notophyll	Nanophyll and microphyll
Drip-tips	Common in lower storeys	Frequent in lower storeys	Usually none	None
Compound	Common	Occasional	Rare or none	Usually none
<i>Climbers</i>				
Large woody	Numerous	Few or none	Usually none	None
Small or herbaceous	Frequent	Sometimes abundant	Frequent; often epiphytic	Few
<i>Epiphytes</i>				
Vascular	Few, except on large emergent trees	Often abundant	Abundant	Abundant
Bryophytes	Rather scarce except near streams, etc.	Abundant but seldom forming thick masses	Very abundant; often forming thick blankets on trees	Very abundant

<sup>a</sup> The heights are those of the 'canopy' (highest more or less continuous layer of tree crowns). Heights of emergents are given in parentheses.

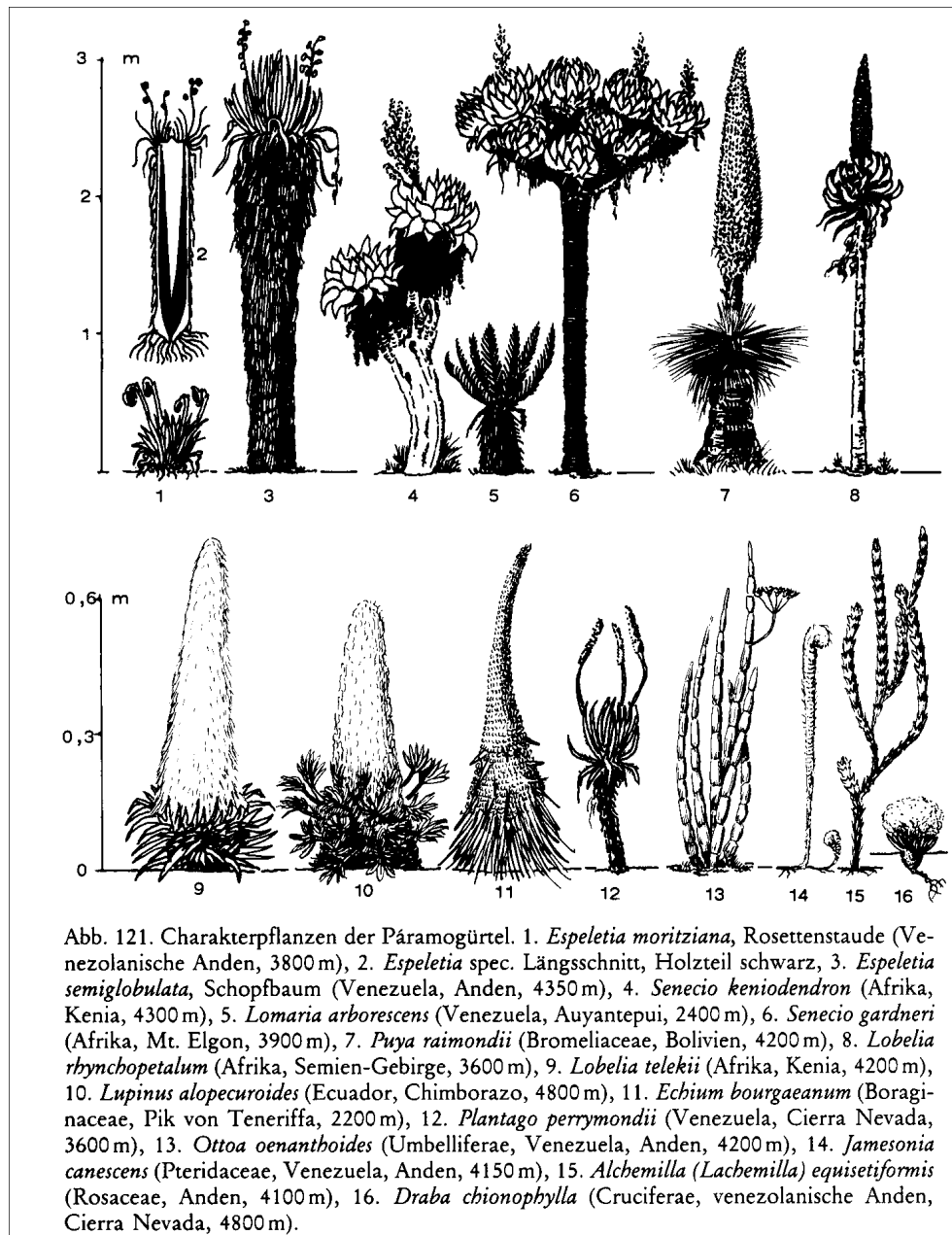
<sup>b</sup> The 'predominant' size on Raunkiaer's classification as modified by Webb (see Chapter 4).

Source: Based on Grubb & Tanner (1976).

**Tabelle 9: Strukturelle und physiognomische Änderungen tropischer Wälder mit der Höhe.** (aus Richards 1998); A. Fae-Thie: Höhenstufen in m ü. NN (ca.): Lowland: 0-1200, Lower montane: 1200-1500, Upper montane: 1500-3000, Subalpine: 3000-3500.

Oberhalb dieser Zone treten – wie in den Gebirgen der gemäßigten Breiten – Gebüschformationen auf. Diese ertragen das Klima besser, das durch rasche Wechsel von nächtlicher Kälte zu täglicher Hitze und durch geringere Niederschläge geprägt ist. In dieser Zone, für die Vareschi (1980) den Namen Paramo vorschlägt, treten sehr spezifische Pflanzentypen auf (**Abbildung 14**).





**Abbildung 14: Typische Pflanzen des Paramo**, des Vegetationsbereiches der Tropen oberhalb der Waldgrenze (aus Vareschi 1980)

## 5 MANGROVEN

Ein Spezifikum der Tropen ist die Ausbildung von Mangrovenbeständen entlang den Meeresküsten. (In den gemäßigten Breiten fehlen einfach salzresistente Gehölze, so dass in dieser Zone nur krautige Formationen auftreten, wie Seegrasdecken, Quellerfluren, Andelrasen). Die einzelnen Mangrovenarten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Salztoleranz (**Abbildung 15**). Allerdings sind insgesamt die SE-Asiatischen Mangrovenbestände mit bis zu 26 Arten deutlich artenreicher als die afrikanischen oder amerikanischen mit unter 10 Arten. Besonders häufig sind bei den Mangroven Stelzwurzeln ausgebildet.

Wie häufig bei Übergängen von Lebensräumen (hier Land - Wasser) sind die Ökosysteme artenreich, in dem Fall auch noch recht produktiv (Schmidt 1995). Die Mangroven sind bedeutsam für den Küstenschutz, für den Artenschutz, als „Kinderstube“ des Meeres und auch als Holzquelle.

Mangroven werden extrem stark als Holzquellen genutzt, dabei oft übernutzt und dadurch zerstört. Durch wasserbauliche Maßnahmen in Ästuaren oder Lagunen treten ebenfalls Probleme auf: Versüßung des Wassers oder Unterbrechung des Nährstoffzuflusses aus den Flußmündungen. Eine vollständige Zerstörung besteht durch die Anlage von Teichen für die Shrimpszucht, die auf diese Brackwasserzone angewiesen ist, oder auch durch Nutzung als Bauland küstennaher Städte. (Schmidt 1995, Ensminger 1996).

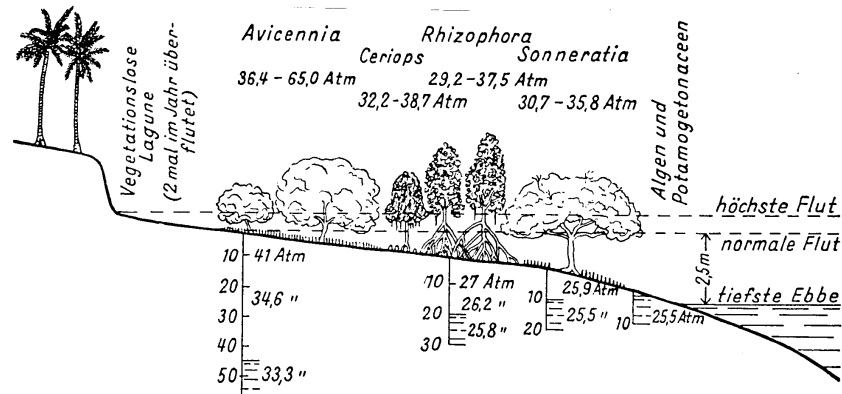


Abb. 2.64: Potent. osmotischer Druck der Mangroven-Arten (tiefster und höchster Wert) und der Bodenlösungen in verschiedener Tiefe (in Zentimeter) (aus H. WALTER, Standortslehre, 2. Aufl., 1960).

**Abbildung 15: Zonierung der tropischen Mangrovenküste** (aus Walter und Breckle 1984)

## 6 NUTZUNGEN UND IHRE ÖKOLOGISCHEN FOLGEN

### 6.1 GENERELLE NUTZUNGSSTRUKTUR

Bis weit ins vorige Jahrhundert hinein waren die feuchten Tropen dünn besiedelt. Lediglich an günstigen Verkehrswegen (Küste oder Flußufer) waren größere Siedlungen möglich und auch die vorkoloniale traditionelle Siedlungsstruktur war z. B. im Amazonasgebiet auf diese flußnahen Gebiete beschränkt; die übrigen Gebiete waren gar nicht bis sehr extensiv genutzt. Lediglich Gebiete mit nährstoffreichen, jungen Böden waren intensiver genutzt (Beispiel Java). Die Landwirtschaft spielte in den wechselfeuchten Tropen sowohl traditionell als auch kolonial eine viel größere Rolle, da diese einfacher und ertragreicher zu bewirtschaften sind.

Die Zerstörung der Regenwälder ist Thema der Tagespresse und braucht in seiner Bedeutung hier nur noch angedeutet werden. Relevant ist dieser Prozess wegen der regionalen Vernichtung von Lebensgrundlagen z. B. indigener Völker und wegen seiner globalen Auswirkungen in Form von zerstörter Biodiversität und verändertem Klimaeinfluss (über den CO<sub>2</sub>-Haushalt, den Wasserhaushalt und die Strahlungsbilanz [Rückstrahlung]).

Die Intensive Nutzung der feuchten Tropen begann erst im 20. Jahrhundert mit Erfolgen in der medizinischen Bekämpfung wichtiger Tropenkrankheiten, der starken Bevölkerungszunahme und den erweiterten technischen Möglichkeiten in der Abholzung der Wälder (Kettensägen, Raupen, LKWs). Die Änderung der ursprünglichen Vegetation geschah schon lange durch Brandrodungsfeldbau, in kolonialer und postkolonialer Zeit dann auch durch den Holzhandel, die Anlage von Weideflächen und zur Gewinnung von Brennholz (Myers 1980). Auf die Hauptnutzungen wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

Die Landnutzung in den Tropen ist real schon entsprechend den jeweiligen Klimabedingungen (das der immerfeuchte Wälder, der wechselfeuchte Wälder und der tropischen Grasländer) sowie der Standortsbedingungen (Böden, Höhenlage, Klima) recht differenziert (**Abbildung 17**); um so mehr haben auch Vorschläge zur Verringerung der Umweltbelastung dieser Landnutzung diese differenzierten Standortsbedingungen zu beachten (**Abbildung 18**).

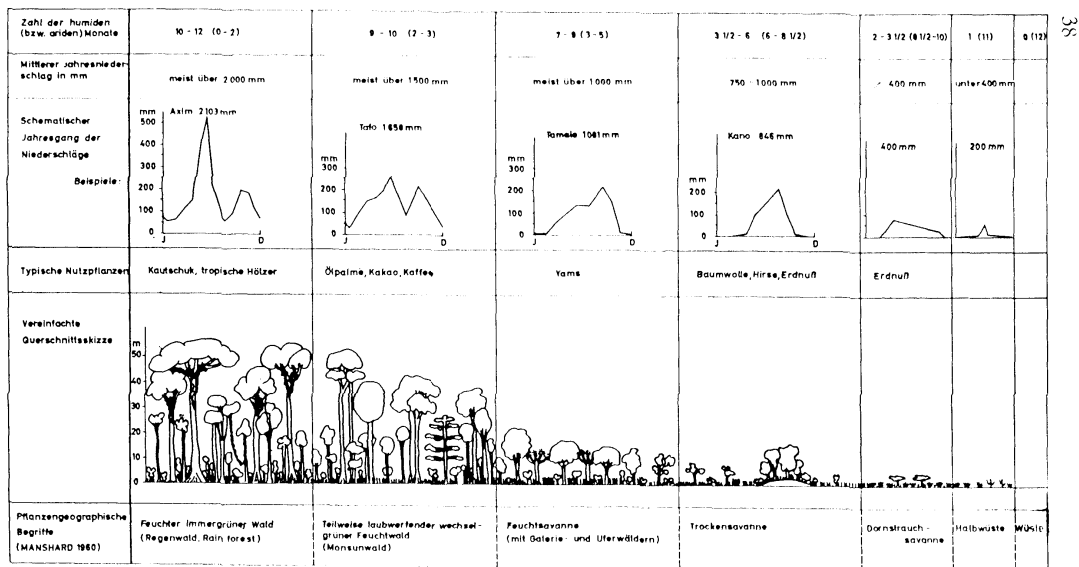


Abb. 5 Schematische Übersicht der klimatischen Vegetationsformationen (zwischen Äquator und Wendekreis)

Abbildung 16: Schematische Übersicht der klimatischen Vegetationsformen und ihrer überwiegenden agrarischen Nutzung (aus Manshard 1968)

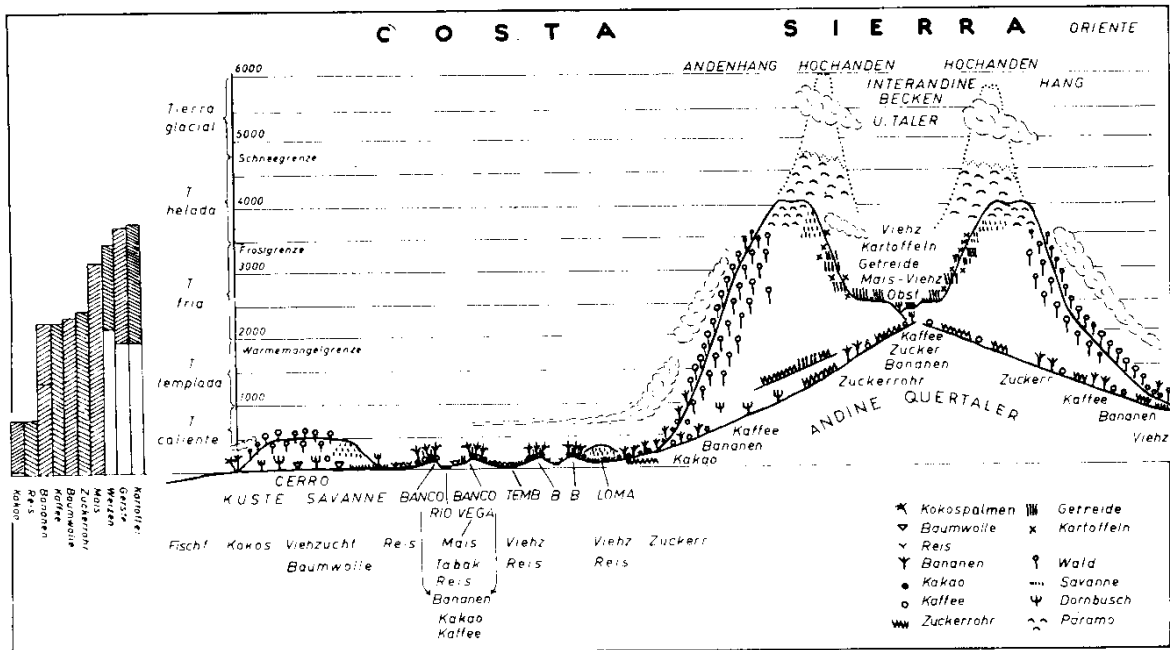


Abb. 22 Agrargeographisches SW-NO-Profil von der Küste bis in die Hochanden Ecuadors

Abbildung 17: Beispiel für differenzierte Landnutzung (aus Müller-Hohenstein 1981)

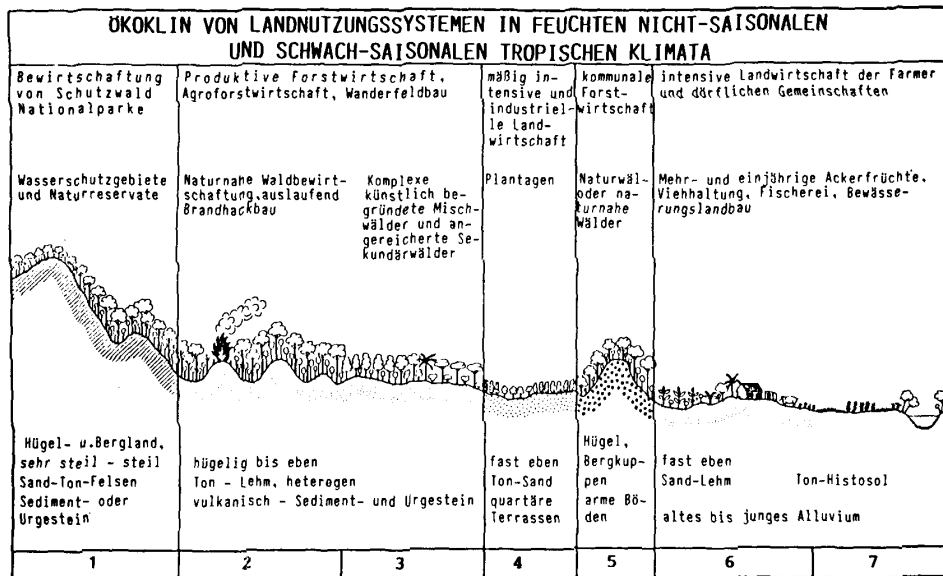


Abb. 11: Querschnittsprofil durch eine äquatorial-tropische Landschaft mit entsprechend feuchtem Klima (wobei die Niederschläge größer sind als die Gesamtverdunstung):

1. Absoluter Schutzwald, Natur- und Artenschutz, Wasser- und Klimaschutz, das Urwaldökosystem ist unverändert außer durch Waldbewohner, die sammeln, jagen und bevorzugte Pflanzenarten fördern, aber auch bis zum lokalen Aussterben übernutzen können.
2. Zone produktiver und protektiver extensiver Forstwirtschaft, naturnaher Waldbau, der derzeit noch ausgeübte Wanderfeldbau (shifting cultivation, swidden-agriculture) wird abgelöst durch positive Maßnahmen in 3 bis 7.
3. Auf günstigen Standorten intensivere Formen der Forstwirtschaft, gemischte Plantagen (keine Monokulturen), Waldgärten.
4. Auf sehr günstigen Standorten landwirtschaftliche Plantagen (zum Beispiel Ölpalmen, Gummi, Früchte, Pfeffer) im bäuerlichen Kleinbetrieb und in Großbetrieben.
5. Schutz- und Gemeindewald, Bauernwald.
6. Biologischer und biokybernetischer Landbau mit Mischanbau, Viehhaltung und Fischzucht.
7. Intensiver Bewässerungslandbau auf geeigneten Standort; total geschützter Uferstreifen

Abbildung 18: Grobes Konzept für eine umweltverträgliche, standortsangepasste Landnutzung (aus Bruenig 1991)

## 6.2 FORSTLICHE NUTZUNG

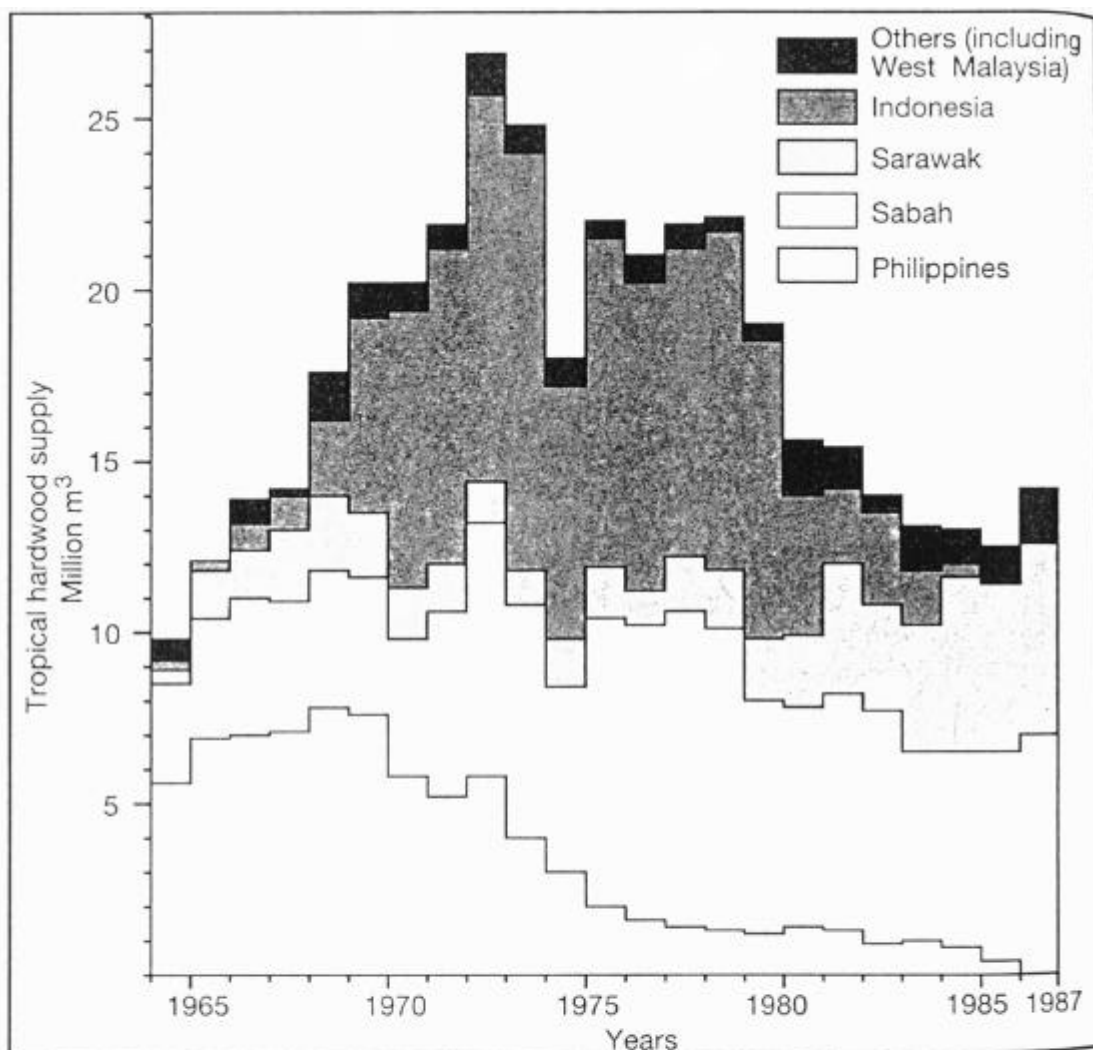
Es ist wesentlich ein paar Begriffe zu definieren:

- Die feuchten Tropen sind primär eine Waldzone (**VIRGIN FOREST** [≈ Urwald]).
- Nutzungen, z. B. die Entnahme einzelner Stämme, das gezielte Pflanzen einzelner Bäume im Bestand verändern die innere Struktur der Wälder, es handelt sich aber immer um einen Waldstandort: **PRIMÄRWALD**.
- Landwirtschaftliche Nutzung zerstört den Wald als solchen. Wiederaufwuchs erzeugt einen **SEKUNDÄRWALD**. Dieser ist durch Pioniergeholzarten geprägt (oft Euphorbiaceae) und kann, wenn er kleinflächig in Primärwald eingebunden ist, sich innerhalb von 25 Jahren dem Primärwald wieder anpassen.

Diese Terminologie unterscheidet sich von der in Mitteleuropa üblichen!

Die tropischen Wälder weisen ein generelles Problem der Holznutzung auf: die sehr heterogene Artenzusammensetzung verhindert die Lieferung gleicher Sortimenten und nötigt zu aufwändiger Einzelstammentnahme, so dass auf großen Flächen Eingriffe mit einer recht geringen „Ausbeute“ erfolgen.

Die Bemühungen um eine geregelte forstwirtschaftliche Nutzung der tropischen Wälder waren gering. Sie konzentrierte sich auf Plantagen (vor allem Teak in Java und Burma) und die Extraktion gewinnbringender Hölzer. Noch in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts war deutlich mehr Unkenntnis als Wissen bezüglich einer effektiven forstlichen Nutzung vorhanden, das Problembewusstsein bezüglich des drohenden Verlustes der tropischen Wälder noch gering: „Die forstliche ‚Inbetriebnahme‘ bisher nicht bewirtschafteter Naturwälder kann über den vollständigen Ersatz der ursprünglichen Bestockung erfolgen..... Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich auf die indirekt Überführung. Die Voraussetzungen ... sind insofern günstig, als dem Tropenwaldbauer vielfach noch vollständig intakte Biozöno- sen zur Verfügung stehen.“ (Lamprecht 1972). In den folgenden Jahren stieg das Problem- bewusstsein bezüglich der Nachhaltigkeit tropischen Waldbaus (Lamprecht 1986), ohne je- doch eine wirkliche Wende herbeizuführen.



**Figure 9.3.** The rise and fall of Indonesian log exports. The Malaysian states of Sabah and Sarawak have been the main suppliers of logs to Japan since 1978. Between 1971 and 1978 Indonesia was the main supplier. In 1974 Indonesia exported 11.5 million cubic metres to Japan (47% of tropical log imports) with eight million cubic metres from Kalimantan.

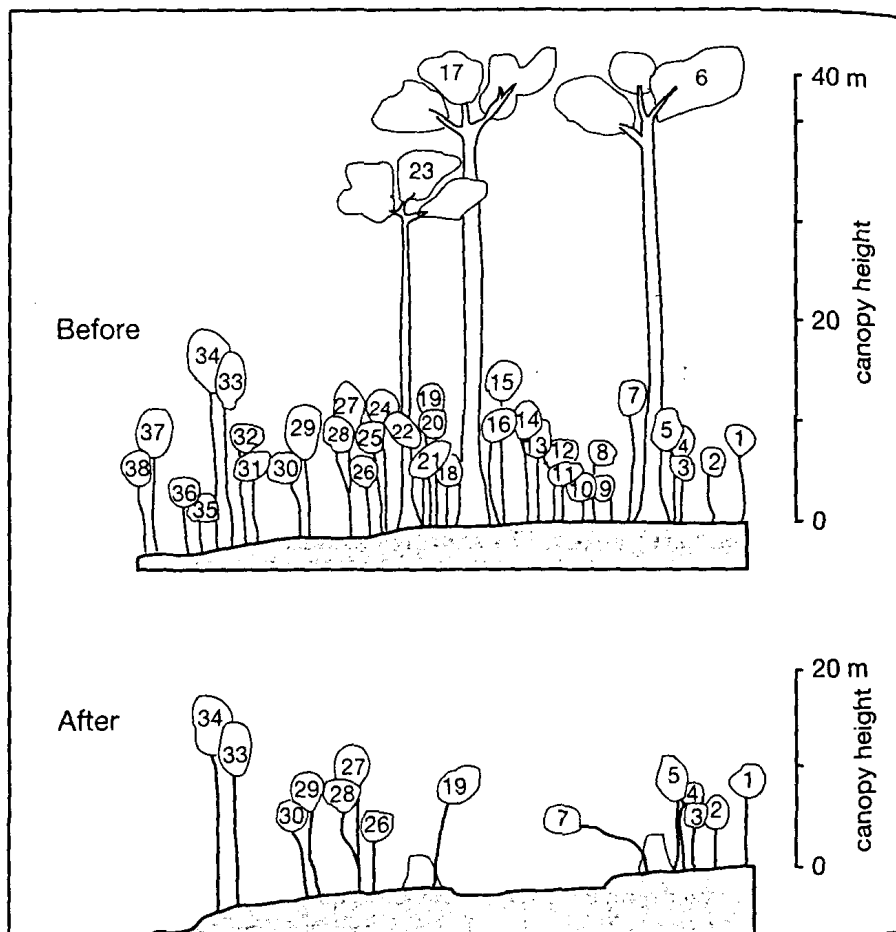
Source: Nectoux and Kuroda 1989

**Abbildung 19: Import von Rundholz aus SE-Asien nach Japan** (aus Mac Kinnon, et al. 1996). Zum Vergleich: die alte Bundesrepublik schlug jährlich etwa 30 Mio. m<sup>3</sup> ein und importierte zusätzlich ca. 50 Mio. m<sup>3</sup>.

Die Dramatik der Zerstörung tropischer Wälder ist häufig genug dargestellt worden. sie erfolgt hier nicht noch ein weiteres mal.

Nur ein Beispiel für den Holzraubbau in den Tropen: Rundholzexport (!) aus SE-Asia nach Japan: Erschöpfung Holzvorräte der Philippinen in den 70er Jahren (Abbildung 19), Indonesien verbot Rundholzausfuhr, ist jetzt der größte Sperrholzproduzent /-exporteur. Hauptexport seitdem aus Sabah und Sarawak (Provinzen Malaysias auf Borneo).

Wenn dies im Vergleich zu den Importen der Bundesrepublik (hauptsächlich aus nördlichen Ländern) nicht viel erscheint, so gilt zu berücksichtigen, dass dies praktisch ohne Neuaufforstung einherging. Vor allem aber ist dieses Exportvolumen erkauf mit dem Vielfachen an zerstörter Waldsubstanz: die Zerstörungen von Biomasse durch gewöhnlichen Holzeinschlag treten auf durch: Bau von Holzstraßen (für Trucks), durch Rückewege (wo die Stämme gezogen werden), beim Drehen der Stämme um sie in die richtige Zugrichtung zu bringen und durch das Mitreißen von Bäumen beim Sturz der gefälltten Stämme (Abbildung 20, Abbildung 21).



**Figure 9.4.** Forest profile before and after logging.

Source: Johns 1983a

**Abbildung 20:** Die Zerstörung eines Bestandes trotz selektiver Holzentnahme (aus Mac Kinnon, et al. 1996)

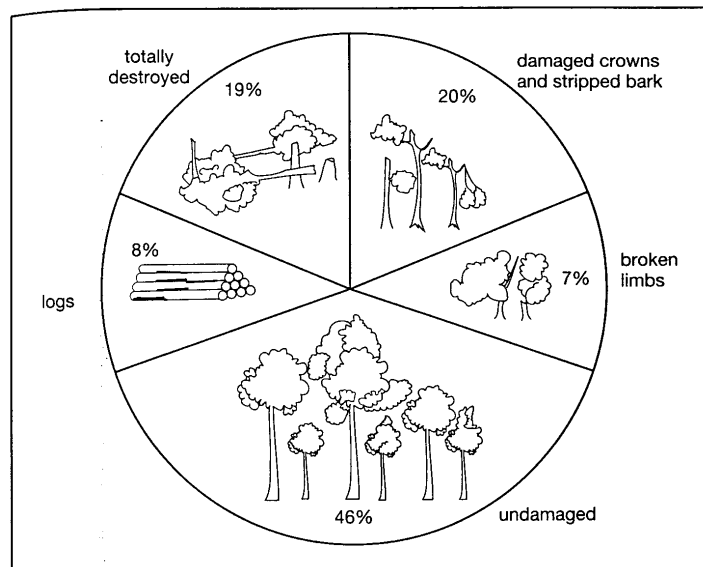
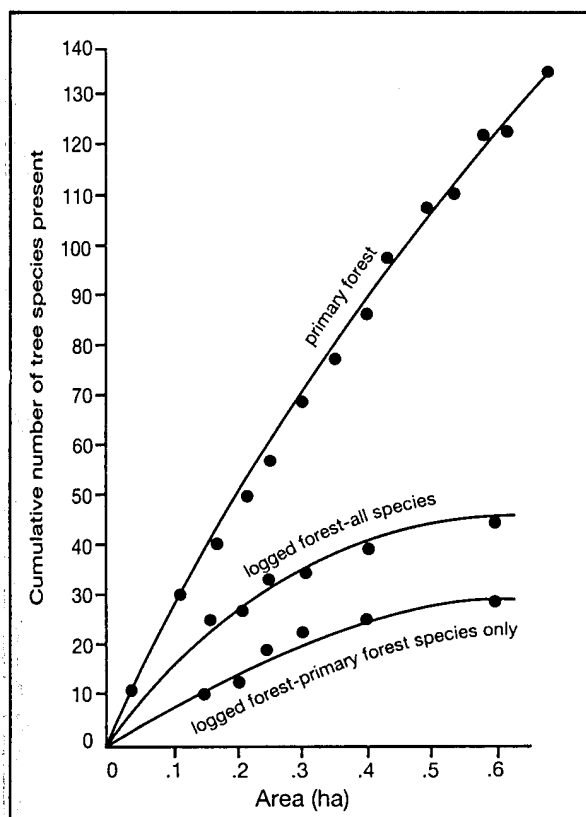


Figure 9.5. The effect of extracting 8% of trees by selective logging on an area of forest on South Pagai, Mentawai, West Sumatra. (After Alrasjid and Effendi 1979.)

**Abbildung 21:** Die Entnahme von 8% des Holz eines Bestandes geht einher mit der Zerstörung von weiteren 46 % (aus Mac Kinnon, et al. 1996).

Obwohl die Bestände relativ schnell wieder zuwachsen (sofern nicht neue Störungen folgen!) bleibt sowohl die Artenzusammensetzung verringert (Abbildung 22) als auch die Biomasse noch langfristig vermindert (Abbildung 23).



**Figure 9.7.** Tree species diversity in primary and logged forest in Silabukan Forest Reserve, 20 years after logging. (After Davies and Payne 1982.)

**Abbildung 22:** Artenzahlen von Beständen 20 Jahre nach dem Holzeinschlag (aus Mac Kinnon, et al. 1996).

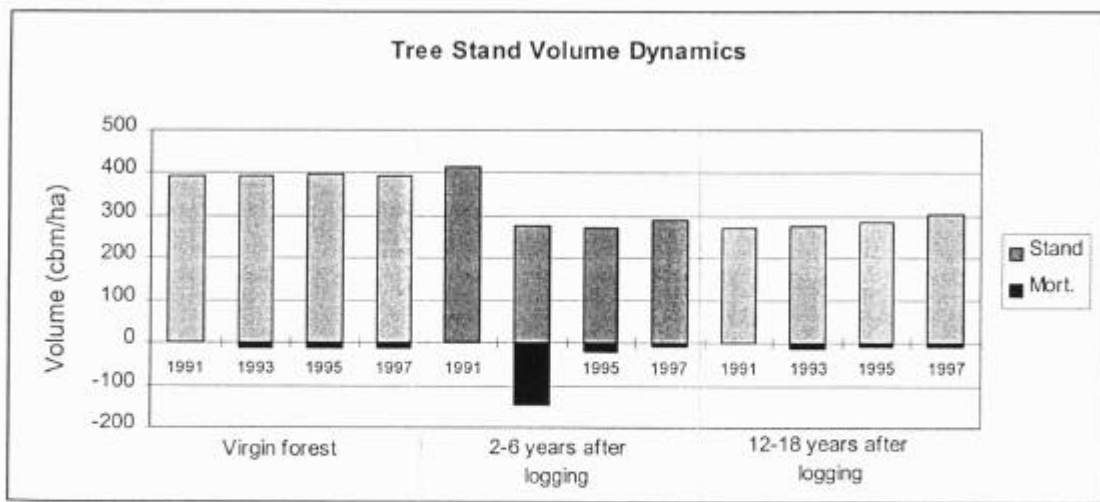


Fig. 1: Stand volume and mortality rate ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) of virgin forest, 2-6 years and 12-18 years after logging (average of 12 ha and 8 ha respectively).

**Abbildung 23: Holzvorräte von Beständen** ohne Holzeinschlag und zu verschiedenen Jahren nach dem selektiven Einschlag. Selbst nach 18 Jahren bleiben die Vorräte weit unter der ungestörten Fläche. Untersuchungen an Dauerflächen in East-Kalimantan, Indonesien. (Rathert pers. Mitteilung)

Gravierend sind auch die indirekten Folgen der Forstwirtschaft: durch das Anlegen von Forststraßen werden für die Bevölkerung Gebiete leichter erreichbar, die – wenigstens zeitweise – landwirtschaftlich genutzt werden. (s. Abschn. 6.3)

Die Folgen dieser Waldnutzung sind klar erkennbar: Raubbau an der Substanz des Waldes mit den entsprechenden ökologischen Folgen:

- Hoher Verlust an Biodiversität (das ist mehr als Artenvielfalt, da auch die Vielfalt von Ökosystemen und von genetischer Variabilität dazu gehört) (Barthlott und Winiger 1998)
- Verstärkte Erosion mit Verlusten für die Landnutzung und verstärkter Belastung der küstennahen Gewässer (Erosionsmaterial beeinträchtigt z. B. extrem die Korallenriffe)
- Erhöhte Wasserabflussspitzen wegen verringerter Pufferfunktion des Bodens - wie sie ebenfalls in den gemäßigten Breiten auftritt und auch für die Tropen schon lange bekannt ist (Loetsch 1958)
- Verminderte Evapotranspiration ist regional bedeutend, da in den Tropen Regenerenisse stärker aus lokalen Quellen gespeist werden. Abholzung geht so mit verminderten Niederschlägen einher (Enquete Kommission 1994)
- Verminderte Evapotranspiration ist global nicht so entscheidend, da für den globalen Wasserhaushalt die Evapotranspiration der Weltmeere viel relevanter ist (Enquete Kommission 1994)

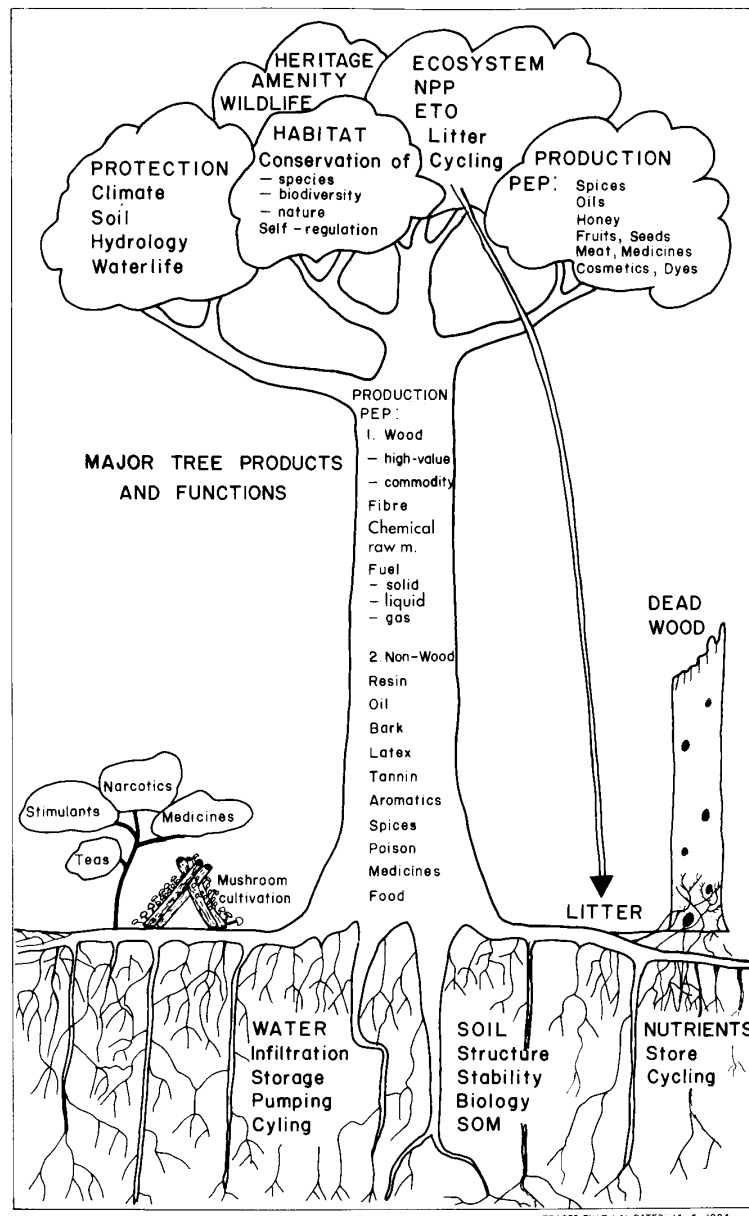
Diese Probleme sind lange bekannt und die ökologischen Grundlagen für eine sinnvollere Nutzungsform ebenfalls (z. B. Loetsch 1958, Meijer 1973). Aus lokal begrenzter, verbesserter Waldnutzung sind bereits Schlüsse gezogen (Bruenig 1996), die jeweiligen sozialen Probleme erschweren aber erheblich eine weitergehende Lösung.



#### 4.11 Major conclusions for forest management

- 1 Nutrient levels, CEC and fertilizer efficiency are very low on sandy soils. Forestry with low intensity of exploitation appears to be the best land use option.
- 2 Low intensity logging of 20 -25 m<sup>3</sup>/ha on sandy soils appears to have fairly little impact on the hydrological and nutrient cycle at catchment level
- 3 To avoid erosion and siltation, logging should not occur in a buffer strip along creeks. Logging should also not occur on steep slopes for the same reasons, but this may depend on soil type.
- 4 The lack of individuals in the lower adult size classes of Greenheart does not allow a second harvest after 20-25 years.
- 5 To compensate for low growth rate and decline in populations of commercial species relative to non-commercial species, after harvest, silvicultural treatments are necessary to ensure future commercial potential of the forest.
- 6 Uncontrolled skidding is a main cause for damage to the ecosystem because of:
  - destruction of seedlings, saplings and treelets;
  - soil compaction on the skid trails;
  - leaching losses, which are largest on skid trails;
  - unfavourable growth conditions due to high Aluminium concentration and high acidity on trails.
- 7 Directional felling (herring-bone felling) should thus be used as a tool to reduce skidding impact on the forest ecosystem.
- 8 Gap size should be kept small:
  - changes in microclimate will be less;
  - establishment of most commercial climax species is likely to be best on such gaps;
  - surrounding forest may buffer losses in nutrients and water by root absorption;
  - surrounding forest may buffer shortages in nutrients at a later stage by litter input.
- 9 Gaps should be as evenly spaced over the exploited areas as possible.
- 10 Some commercial species, such as Kabukalli or Futui, and many non-commercial species are favoured by larger gaps. As such, gap size will influence the future composition of the forest.

**Tabelle 10: Handlungsempfehlungen** für schonende forstliche Nutzung eines tropischen Waldes in Guayana (aus Steege 1996)



**Abbildung 24: Die Vielzahl der unterschiedlichen Forstprodukte und Ökosystemfunktionen tropischer Bäume (aus Bruenig 1996 Fig. 4.2)**

Eine Lösung dafür wird einerseits im „low impact logging“ gesucht (Steege 1996, Bruenig 1996, Tabelle 10): durch kluge Planung der Holzentnahme könnten diese Verluste deutlich verringert werden. Die sozialen Probleme – und wegen des einseitigen Nutzungsinteresses von Holzkonzernen möglicherweise auch die Umweltprobleme – bleiben aber so bestehen. Alternativen dazu rücken den sozialen Charakter der Nutzungsänderung stärker in den Vordergrund: die lokale Bevölkerung soll ein nachhaltiges Nutzungskonzept entwickeln und realisieren, das sowohl auf die Umwelt als auch auf die Sozialstruktur angepasst ist (u. a.: Hartshorn 1995, Kapp 1997, Stecker 1996). Degradierete Flächen können wieder genutzt werden durch:

- Gewährenlassen der sekundären Sukzession (Richards 1998 S. 457 ff)
- Unterstützung dieser Entwicklung durch Initialisierungspflanzungen (Heinrich und Blancke 1995)
- Entwicklung von behutsamer agro-forstwirtschaftlicher Nutzung (s. Abschn. 6.4)

Ein weiteres Element besteht in der bewußten Nutzung der „non-wood forest products“ wie Rattan, Früchte, Harze, etc. (Abbildung 24). Wird diese Vielzahl möglicher Produkte genutzt, wird der Wald als ganzes eher geschont als bei einer reinen Holznutzung (Bruenig 1996, Hartshorn 1995).

### 6.3 LANDWIRTSCHAFTLICHE NUTZUNGEN

Die Landwirtschaft der Tropen weist eine Reihe von Besonderheiten auf, die hier nicht in Gänze besprochen werden können. Bedeutsam ist jedoch die noch immer wichtige Rolle des Brandrodungsfeldbaus und die bedeutende Rolle der Bewässerung (die allerdings in den Subtropen noch wichtiger ist).

#### 6.3.1 BRANDRODUNGSFELDBAU

(auch Wanderfeldbau, Shifting cultivation oder „Slash and burn“ genannt)

Eine Form des Trockenfeldbaus, auch Regenfeldbau genannt, d.h. ohne zusätzliche Bewässerung.

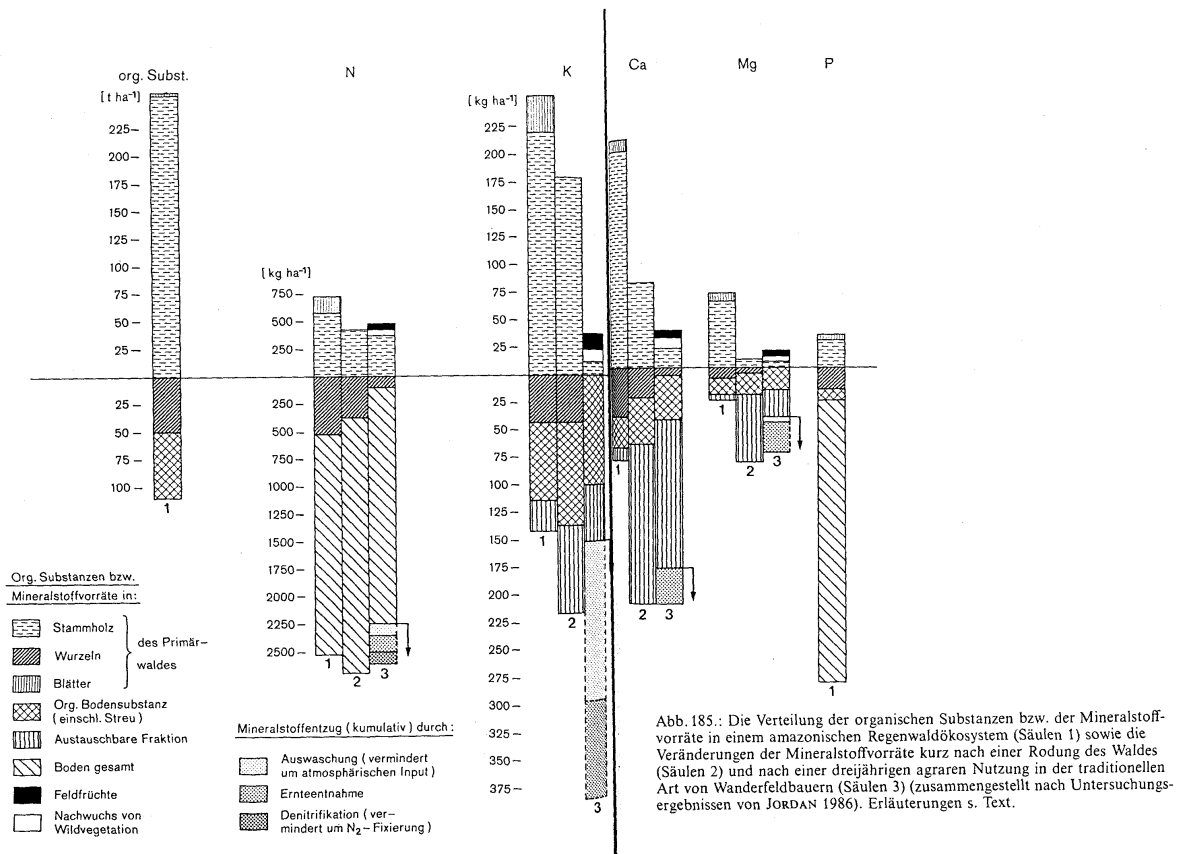
Das Prinzip besteht darin, dass eine bestimmte Waldfläche gerodet und das Pflanzenmaterial abgebrannt wird („slash and burn“). Durch dieses Abbrennen werden die Nährstoffe freigesetzt, so dass dort für ein oder mehr Jahre Ackerbau betrieben werden kann. Die Feldbestellung erfolgt üblicherweise mit der Hacke, nicht mit dem Pflug. Nach Erschöpfung der Nährstoffvorräte bzw. nach zu starker Verunkrautung bzw. dem Ausschlagen der stehengebliebenen Stümpfe bleibt die Fläche brach liegen. Sie bewaldet sich spontan wieder, bis ein neuer Bewirtschaftungszyklus beginnt. Bei zu starker Degradation durch zu kurze oder insgesamt zu viele Zyklen tritt kein Wald mehr auf, sondern Busch- oder Grasland (Richards 1998). Insgesamt tritt eine Verschiebung hin zu „trockener Vegetation“ auf. Der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Jahre an einer bestimmten Zeitspanne (r- Wert bei Doppler 1991) ist weniger als 33 %, die Fläche liegt also mindestens doppelt so lange brach wie sie genutzt wird (vgl. Tabelle 11)

Wuchsgebiet	R (%)	Brache
Tropischer Regenwald	7 - 20	Wald
Trockenwald	18 - 27	Busch
Savannenzone	18 - 29	Gras

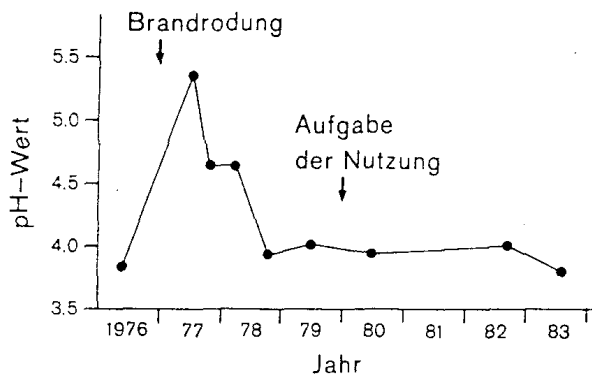
**Tabelle 11: Anteil der landwirtschaftlich genutzten Jahre an der Gesamtzeit (R) beim Wanderfeldbau in unterschiedlichen Wuchsgebieten (nach Doppler 1991)**

Die Mineralstoffgehalte nach Brandrodung werden von der Biomasse in den Boden eingetragen (Düngungseffekt der Brandrodung), vor allem Kalium wird aber auch beträchtlich ausgewaschen (Abbildung 25). Dies führt kurzfristig zu einer starken Erhöhung des pH (Abbildung 26).

Typische Kulturen im Brandrodungsfeldbau: Berg- bzw. Trockenreis (*Oryza sativa*), Mais (*Zea mays*), Hirsen (u.a. *Setaria italica*), Taro (*Colocasia esculenta*), Yams (*Dioscorea* spp.), Cassava (*Manihot esculenta*), Süßkartoffel (*Ipomoea batatas*).



**Abbildung 25: Auswirkung von Brandrodung und agrarischer Nutzung eines Regenwaldes auf die Nährstoffverteilung.** Deutlich wird die Verlagerung von Kalium in den Boden durch das abbrennen und seine anschließende Auswaschung. Bei N, Mg und Ca ist der Effekt nicht ganz so stark ausgeprägt. (aus Schultz 1995)



**Abbildung 26: Erhöhung des Boden-pH durch das Einwaschen von Pflanzenasche nach der Brandrodung** (aus Schultz 1995)

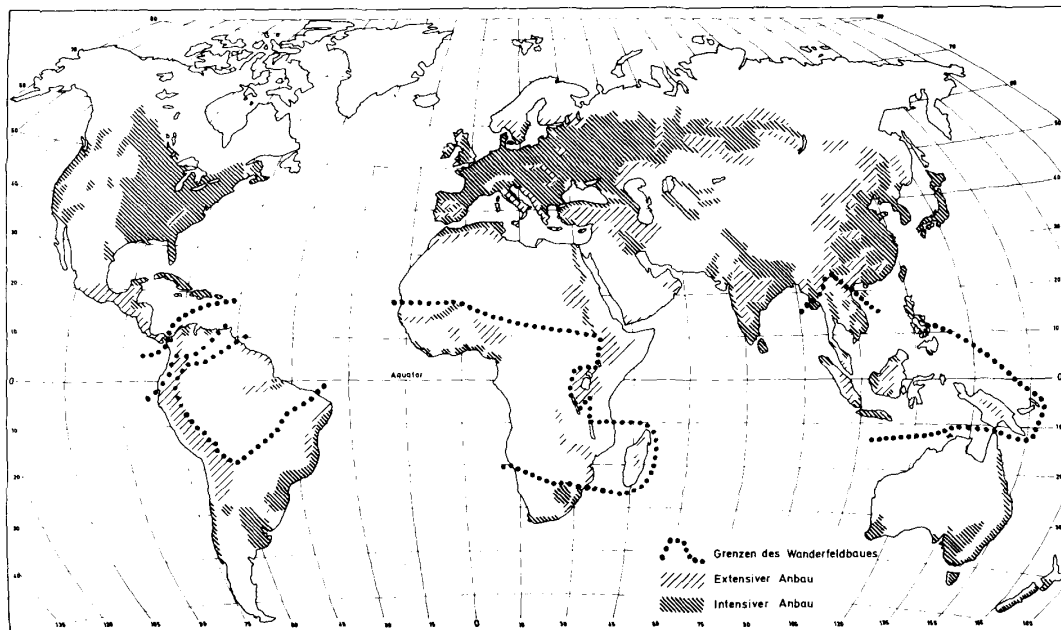


Abb. 91: Intensitätsstufen im Weltagrarraum und Grenzen des Wanderfeldbaus (nach ANDREAE 1983).

**Abbildung 27: Verbreitung des Wanderfeldbaus** (aus Schultz 1995)

Brandrodungsfeldbau ist als Subsistenzwirtschaft (d.h. zur eigenen Ernährung, nicht für den Markt) in den Tropen und Subtropen schon vor der Kolonialisierung weit verbreitet gewesen (Abbildung 27). Bei geringem Bevölkerungsdruck ist das System auch stabil. Durch Bevölkerungswachstum und durch Einengung der Lebensräume werden vermehrt ungünstige (oft zu steile) Lagen einbezogen und die Zyklen verkürzt, so dass sich die Flächen nicht mehr regenerieren können. Diese – aktuelle – Situation macht den Brandrodungsfeldbau zu einer wichtigen Ursache der Waldzerstörung. Vor allem häufigeres Brennen und Abschlagen der frühen Gehölzsukzession verhindert eine Waldregeneration (Abbildung 28).

Wie in Mitteleuropa mit Aspen, Birken, Kiefern etc. gibt es auch in den Tropen ausgesprochene Pioniergehölze (Gómez-Pompa und Vasquez-Yanes 1974). Die Ablösung dieses Sekundärwaldes durch einen reifen Regenwald dauert wegen der Vielfalt der beteiligten Arten und ihrer oft schlechten Ausbreitungsmöglichkeit jedoch sehr lang.

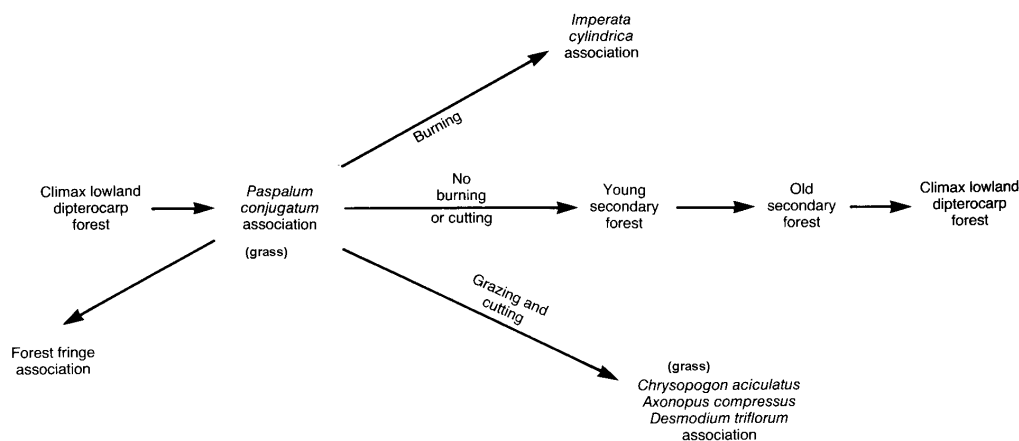


Fig. 18.18 Secondary successions leading to four main grassland communities in tropical rain forest, Pahang, Malaysia. After Verboom (1968), modified.

**Abbildung 28: Mögliche Sukzessionen nach Waldrodung:** länger anhaltende Störungen (Beweidung, Schnitt oder Abbrennen) verhindern auch nach dem Ende der Störung längerfristig die Wiederbewaldung (aus Richards 1998).

### 6.3.2 DAUERFELDBAU - ANNUELLE KULTUREN

Bewässerungsfeldbau ist in den immerfeuchten Tropen häufiger als Trockenfeldbau, da dieser deutlich höhere Erträge als der Trockenfeldbau bringt und in der Regel genügend Wasser vorhanden ist (im Gegensatz zu den semihumiden und vor allem semiariden Gebieten) (Doppler 1991).

Typische Kulturen: (nach Rehm und Espig 1984 und Manshard 1968): Reis (*Oryza sativa*), Mais (*Zea mays*), Hirsen (*Sorghum* spp. u. a.), Taro (*Colocasia esculenta*), Yams (*Dioscorea* spp.), Cassava (auch Maniok genannt, *Manihot esculenta*), Süßkartoffel (*Ipomoea batatas*). Viele dieser Arten sind im Regenfeldbau und auch mit Bewässerung anbaubar – so auch der Reis. Dieser Trocken-Reisanbau macht zwar nur ca. 1% des Reisanbaus aus, ist aber für die Subsistenzwirtschaft in Berggebieten relevant. Reis ist weltweit nach Weizen das wichtigste Getreide und wird in vielen tropischen Ländern angebaut; Anbauflächen (in Mio. ha): Asien 130, Lateinamerika 7, Afrika 5 (aus Doppler 1991).

Neben diesen Grundnahrungsmitteln werden natürlich div. Gemüse angebaut.

Die Umweltprobleme dieser Form der Landwirtschaft sind im Kern die gleichen wie in den gemäßigten Breiten: Bodenerosion und Folgen des Einsatzes von Agrochemikalien, allerdings sind die Ausmaße unterschiedlich (Weischet 1980, Weischet und Caviedes 1993): Temperaturbedingt wird der Humus schnell abgebaut. Der dadurch geringe Humusanteil in den Böden führt in Verbindung mit den weiträumig geringen Nährstoffvorräten zu besonders hohem Düngerbedarf. Hohe Niederschläge führen dann zusätzlich zu starker Auswaschung von Nährstoffen.

Auch die Bodenerosion ist wegen der stärkeren Regenfälle und wegen der zwischenzeitlich auch stärkeren Austrocknung des Bodens viel stärker. (Näheres s. Bodenökologie der trockenen und warmen Klimate)

### 6.3.3 DAUERFELDBAU - PERENNE KULTUREN

Charakteristisch für die Tropen sind die große Zahl perenner Kulturen. In Mitteleuropa sind Obst- und Weinkulturen mehrjährig, in den Tropen jedoch sind weitflächig folgende Dauerkulturen typisch: Kokos (*Cocos nucifera*), Sago (*Metroxylon sagu*), Zuckerpalme (*Arenga pinnata*), Ölpalme (*Elaeis guineensis*), Betel (*Areca catechu*), Banane (*Musa* spp.), Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*), Kakao (*Theobroma cacao*), Kaffee (*Coffea arabica*, *C. robusta*), Kautschuk (*Hevea brasiliensis*), Muskat (*Myristica fragrans*), Gewürznelken (*Syzygium aromaticum*), Vanille (*Vanilla* spp.) Fruchtbäume (Mango, Guave, Durian, Citrus, Papaya, Jackfruit, Starfruit, Litchi, Ananas, Cashew etc.) (Doppler 1991, Manshard 1968, Rehm und Espig 1984).

Perenne Arten sind wegen der kontinuierlichen Vegetationsdecke weniger anfällig für Erosionen, sind jedoch bei weiträumigen Plantagenanbau problematisch in Bezug auf Pestizid- und Düngereinsatz.

## 6.4 AGROFORSTWIRTSCHAFT

Als Antwort auf die Umweltprobleme tropischer Land- und Forstwirtschaft wurde Anfang der 80er Jahre des 20. Jahrh. unter dem Begriff „Agroforstwirtschaft“ ein neues Konzept der Landnutzung diskutiert, das aber weitgehend auf traditionelle Formen der Landnutzung zurückgreift (Nair 1989). Kleinräumig wurde nämlich schon in allen tropischen Regionen – und nicht nur dort – traditionell eine Form von Agroforstwirtschaft betrieben.

Als wesentliches Prinzip läßt sich festhalten (s. **Abbildung 29**): Agroforstwirtschaft ist eine gezielte zeitlich oder räumlich gemischte Landnutzung von Bäumen auf der selben Fläche mit Feldfrüchten und / oder Tieren; dabei treten bedeutsame ökonomische oder ökologische Interaktionen zwischen den Gehölzen und Nichtgehölzen auf. (Nair 1989).

Traditionelle Formen der Agroforstwirtschaft zielten vor allem auf Nahrungsproduktion ab. Im 19. Jahrh. kam mit dem „Taungya-System“ eine moderne Form auf, die vor allem auf die

Etablierung von Teakplantagen in Burma abzielte, später auch in Indien und anderen Ländern unter anderen Namen (Kaingining, Ladung, Shamba, Consoricao etc.) betrieben wurde. Dieses System entstand unter dem Einfluss der Kolonialverwaltungen und ihrer Forstinteressen, die auf den degradierten Flächen preiswert (Teak-)Plantagen etablieren wollten. Dafür wurde den armen und landlosen Bauern erlaubt, zwischen den jungen Bäumen vorübergehend Landwirtschaft zu betreiben, wenn sie die Anpflanzungen und Pflege der jungen Bäume übernehmen. Erst in den 70er Jahren des 20. Jahrh. entwickelten sich in Anbetracht von Nahrungsmangel, Energiekrise und globalen Umweltproblemen neue Konzepte von Agroforstwirtschaft, die neben der Aufarbeitung traditioneller Agroforstwirtschaft vor allem Fragen günstiger Pflanzenkombinationen erforschten. 1977 wurde dafür das ICRAF gegründet (International Council for Research in Agroforestry) (King 1989).

Entscheidend für den Erfolg der Agroforstwirtschaft ist die Wahl geeigneter Kombination von Pflanzen und ggf. Zuchttieren. Diese Wahl muss einerseits auf die ökologischen Standortbedingungen angepaßt sein, andererseits auf die sozio-ökonomischen Bedürfnisse. So müssen die Produkte für den eigenen Konsum einerseits den kulturellen Gewohnheiten entsprechen, die Palette muss aber auch marktfähige Produkte enthalten, die einen sicheren Erlös erwirtschaften.

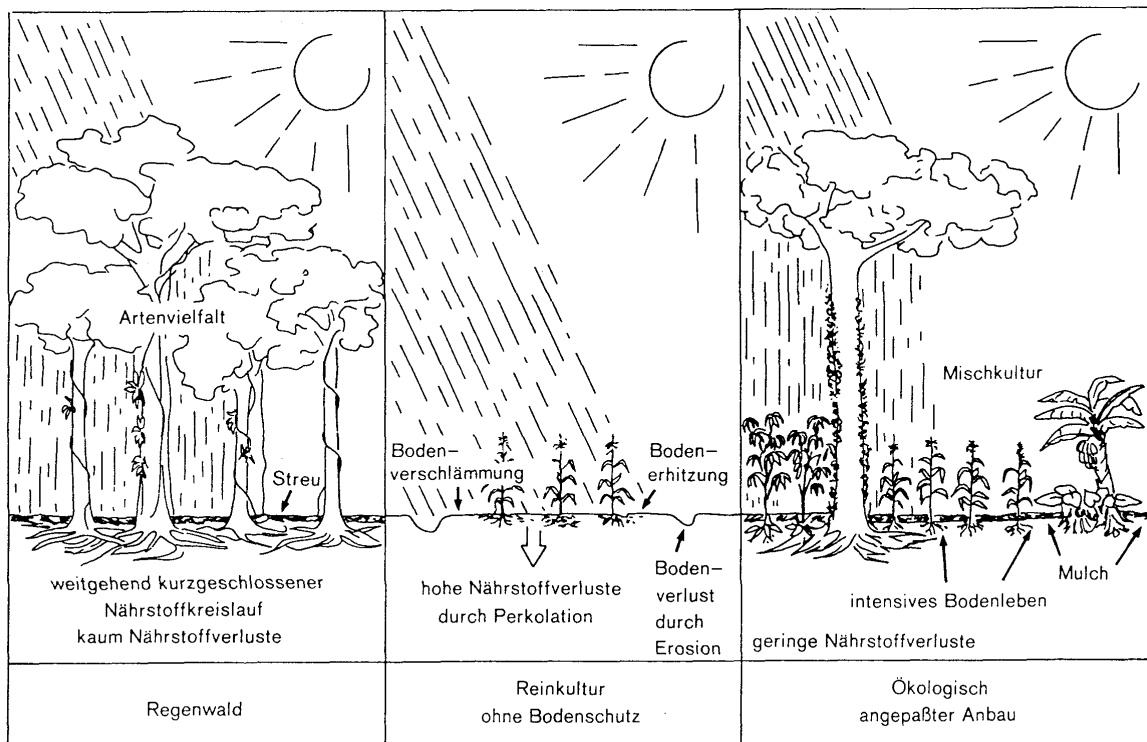


Abb. 187: Der ökologisch angepaßte Anbau im Vergleich zur Reinkultur und zum Primärwald (nach PRINZ 1986). Links: Schematischer Aufbau des tropischen Regenwaldes mit weitgehend kurzgeschlossenem Nährstoffkreislauf. Mitte: Anbau von annualen Kulturpflanzen (Mais) nach Rodung des Waldes ohne Schutz gegen Einstrahlung und Schlagregen. Rechts: Ökologisch angepaßter Stockwerkanbau; Mischkultur-System mit Mulchwirtschaft.

**Abbildung 29: Prinzip von Agroforestry** als Reaktion auf Umweltprobleme „normaler“ moderner Landwirtschaft (aus Schultz 1995).

Ziele (nach Müller-Edzards 1996) moderner Agroforstwirtschaft ist neben dem Anbau von Nutzhölzern (Bauhölzer, Fruchtbäume) und Nahrungspflanzen die Lösung der Probleme, die mit der Waldzerstörung einhergehen, wie:

- Regulierung Wettergeschehen (Lokale Niederschläge)
- Erosionsschutz

- Regulierung Wasserhaushalt (Trinkwasser!)
- Ökonomische Nutzung degradierter Flächen, dadurch geringerer Druck auf verbliebene Wälder
- Speicherung von Kohlenstoff (aus CO<sub>2</sub>)

## 7 ZITIERTE UND ALLGEMEINE LITERATUR

**Archibold, O. W.** (1995): Ecology of world vegetation. Chapman & Hall, London, 510 S.

**Ashton, P. S.** (1988): Dipterocarp biology as a window to the understanding of tropical forest structure. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **19**, 347-370

**Barthlott, W. und Winiger, M.** (Hrsg.). (1998): Biodiversity: a challenge for development research and policy Band Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 429 S.

**Bruenig, E. F.** (1991): Mögliche Wege zur Rettung der Ökosysteme der Tropischen Regenwälder. In: Niemitz, C. (Hrsg.) Das Regenwaldbuch. S. 79-86, Paul Parey, Berlin und Hamburg

**Bruenig, E. F.** (1996): Conservation and Management of Tropical Rainforest. An integrated approach to sustainability. CAB International, Oxford, 339 S.

**Denslow, J. S.** (1987): Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **18**, 431-451

**Doppler, W.** (1991): Landwirtschaftliche Betriebssysteme in den Tropen. Ulmer, Stuttgart

**Ellenberg, H. und Mueller-Dambois, D.** (1967): Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations on earth. *Ber. geobot. Inst. ETH, Stiftg. Rübel, Zürich* **37**, 21-55

**Enquete Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages** (Hrsg.) (1994): Schutz der Grünen Erde. Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder Band *Economica*, Bonn, 702 S.

**Ensminger, I.** (1996): Förderung der natürlichen Regeneration einer geschädigten Mangrovenvegetation. Auswirkungen wasserbaulicher Maßnahmen am Canal Clarin, Ciénaga, Grande des Santa Marta, Kolumbien. *Ökologie Tropischer Waldsysteme GTZ, Eschborn*, 45 S.

**Franke, G.** (Hrsg.) (1994a): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Spezieller Pflanzenbau. UTB für Wissenschaft, Band 3, Ulmer, Stuttgart.

**Franke, G.** (Hrsg.) (1994b): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Spezieller Pflanzenbau - Getreide, Obst, Faserpflanzen. UTB für Wissenschaft, Band 2, Ulmer, Stuttgart.

**Franke, G.** (Hrsg.) (1995): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Allgemeiner Pflanzenbau. UTB für Wissenschaft, Band 1, Ulmer, Stuttgart.

**Golley, F. B.** (Hrsg.) (1983): Tropical Rain Forest Ecosystems: Structure and Function. *Ecosystems of the World*, Band 14 A, Elsevier, Amsterdam.

**Gómez-Pompa, A. und Vasquez-Yanes, C.** (1974): Studies on the secondary succession of tropical lowlands: the life cycle of secondary species. In: First International congress of Ecology, 336-342 S., The Hague

**Grabherr, G.** (1997): Farbatlas Ökosysteme der Erde: natürliche, naturnahe und künstliche Land-Ökosysteme aus geobotanischer Sicht. Ulmer, Stuttgart, 364 S.

**Hartshorn, G. S.** (1995): Ecological basis for sustainable development in tropical forests. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **26**, 155-175



- Heinrich, A. und Blancke, R.** (1995): Diversität und Revitalisierungspotential tropischer Sekundärwälder und Aufforstungen in Costa Rica. *Ökologie Tropischer Waldsysteme GTZ*, Eschborn, 51 S.
- Kapp, G.** (1997): Bewertung von Produktionssystemen bäuerlicher Forst- und Agroforstwirtschaft in Zentralamerika und projektbezogene Entwicklungsstrategien. *Tropenwaldforschung GTZ*, Eschborn, 119 S. + Anhang
- King, K. F. S.** (1989): The history of Agroforestry. In: Nair, P. K. (Hrsg.) *Agroforestry systems in the tropics*. Band 31, S. 3-11, Kluwer Acad. Publ, Dordrecht
- Lamprecht, H.** (1972): Einige Strukturmerkmale natürlicher Tropenwaldtypen und ihre waldbauliche Bedeutung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* **91**, 270-277
- Lamprecht, H.** (1986): *Waldbau in den Tropen*. Parey, Hamburg, Berlin
- Loetsch, F.** (1958): Der Einfluß des Brandrodungsfeldbaus auf das Gefüge des Tropenwaldes und die Wasserführung der Ströme, untersucht am Beispiel Nordthailands. *Erdkunde* **12**, 182-205
- Lugo, A. E.** (Hrsg.) (1995): *Tropical Forests: Management and Ecology* Band Springer, New York u.a.
- Mac Kinnon, K., Hatta, G., Halim, H. und Mangalik, A.** (1996): *The Ecology of Kalimantan. The Ecology of Indonesia Series* Band 3, Periplus Editions, 802 S.
- Manshard, W.** (1968): *Agrargeographie der Tropen. Eine Einführung*. B.I. Hochschul-taschenbücher Band 356/356a, Bibliographisches Institut, Mannheim, 307 S.
- Meijer, W.** (1973): Devastation and Regeneration of Lowland Dipterocarp Forests in Southeast Asia. *Bioscience* **23**, 528-532
- Müller-Edzards, C.** (1996): Struktur und Artenzusammensetzung eines tropischen Regenwaldes auf Leyte, Philippinen. *Ökologie Tropischer Waldsysteme GTZ*, Eschborn, 45 S.
- Müller-Hohenstein, K.** (1981): *Die Landschaftsgürtel der Erde*. Teubner, 2. Aufl., Stuttgart, 204 S.
- Myers, N.** (1980): *Conversion of tropical moist forests*. National Academy of Science, Washington, D. C.
- Nair, P. K.** (Hrsg.) (1989): *Agroforestry systems in the tropics*. *Forestry Science*, Band 31, Kluwer Acad. Publ, Dordrecht, 664 S.
- Ogawa, H., Yoda, K. und Kiro, T.** (1961): A preliminary survey on the vegetation of Thailand. *Nature and Life in South East Asia* **1**, 21-157
- Rehm, S. und Espig, G.** (1984): *Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen*. Ulmer, Stuttgart, 504 S.
- Richards, P. W.** (1998): *The tropical rain forest: An ecological study*. University Press, 2. Aufl., Cambridge, 575 S.
- Richards, P. W., Tansley, A. G. und Watt, A. S.** (1940): The recording of structure, life form and flora of tropical forest communities as a basis for their classification. *J. of Ecology* **27**, 224-239
- Schmidt, H.** (1995): Die Bedeutung der Mangroven für tropische Küstengewässer. Beispiel Brasilien. *Geographische Rundschau* **47**, 128-132
- Schultz, J.** (1995): *Die Ökozonen der Erde*. UTB Band 1514, Ulmer, 2.Aufl., Stuttgart, 535 S.
- Stecker, B.** (1996): *Ökotourismus: Potential für Schutz und nachhaltige Nutzung der Tropenwälder*. GTZ, Eschborn, 54 S.

- Steege, H. Ter, et al.** (1996): Ecology and Logging in a Tropical Rain Forest in Guyana. Tropenbos Series Band 14, The Tropenbos Foundation, Wageningen, 123 S.
- Vareschi, V.** (1980): Vegetationsökologie der Tropen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 293 S.
- Walter, H.** (1979): Vegetation und Klimazonen. UTB Band 14, Ulmer, 4. Aufl., Stuttgart, 382 S.
- Walter, H. und Breckle, S.** (1984): Ökologie der Erde. Band 2: Spezielle Ökologie der Tropischen und Subtropischen Zonen. Gustav Fischer, UTB Große Reihe, Stuttgart, 461 S.
- Weischet, W.** (1980): Die ökologische Benachteiligung der Tropen. B.G. Taubner, Stuttgart, 127 S. S.
- Weischet, W. und Caviedes, C. N.** (1993): The persisting Ecological Constraints of Tropical Agriculture. Longman Scientific & Technological, New York
- Werger, M. J. A.** (1977): Applicability of Zürich-Montpellier methods in African tropical and subtropical range lands. In: Krause, W. (Hrsg.) Application of vegetation science to grassland husbandary. Handbook of Vegetation Science Band 13, S. 123-145, Junk, The Hague
- Werger, M. J. A. und Sprangers, J. T. C.** (1982): Comparison of floristic and structural classification of vegetation. *Vegetatio* **50**, 175-183
- Whitmore, T.C.** (1975): Tropical Rain Forests of the Far East. Clarendon Press, Oxford, 282 S.