

7615
JH

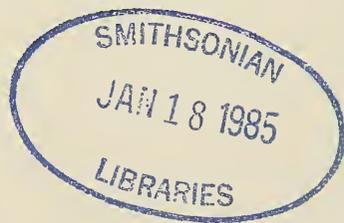


SPIXIANA

Zeitschrift für Zoologie

Tropische Regenwälder
– eine globale Herausforderung –

Herausgegeben von
W. Engelhardt und E. J. Fittkau
Schriftleitung: L. Tiefenbacher



Generaldirektion der Naturwissenschaftlichen Sammlungen Bayerns
und
Zoologische Staatssammlung München, 1984

SPIXIANA	Supplement 10	München, 1. November 1984	ISSN 0343-5512
----------	---------------	---------------------------	----------------

SPIXIANA

ZEITSCHRIFT FÜR ZOOLOGIE

herausgegeben von der
ZOOLOGISCHEN STAATSSAMMLUNG MÜNCHEN

SPIXIANA bringt Originalarbeiten aus dem Gesamtgebiet der Zoologischen Systematik mit Schwerpunkten in Morphologie, Phylogenie, Tiergeographie und Ökologie. Manuskripte werden in Deutsch, Englisch oder Französisch angenommen. Pro Jahr erscheint ein Band zu drei Heften. Umfangreiche Beiträge können in Supplementbänden herausgegeben werden.

SPIXIANA publishes original papers on Zoological Systematics, with emphasis on Morphology, Phylogeny, Zoogeography and Ecology. Manuscripts will be accepted in German, English or French. A volume of three issues will be published annually. Extensive contributions may be edited in supplement volumes.

Redaktion – Editor-in-chief
Priv.-Doz. Dr. E. J. FITTKAU

Schriftleitung – Managing Editor
Dr. L. TIEFENBACHER

Manuskripte, Korrekturen und Besprechungsexemplare sind zu senden an die

Manuscripts, galley proofs, commentaries and review copies of books should be adressed to

Redaktion SPIXIANA
ZOOLOGISCHE STAATSSAMMLUNG MÜNCHEN
Maria-Ward-Straße 1 b
D-8000 München 19, West Germany

(ab 1985:
Münchhausenstraße 21, D-8000 München 60)

SPIXIANA – Journal of Zoology
published by
The State Zoological Collections München

Tropische Regenwälder – eine globale Herausforderung –

**Herausgegeben von
W. Engelhardt und E. J. Fittkau**

Schriftleitung: L. Tiefenbacher

**Generaldirektion der
Naturwissenschaftlichen Sammlungen Bayerns
und
Zoologische Staatssammlung**

München, 1984

Die vorliegenden Beiträge sind erweiterte Niederschriften der Referate, die anlässlich eines Regenwald-Symposiums vom 12. 9.–13. 9. 1983 im Rahmen der IV. Internationalen Gartenbauausstellung (IGA) in der Bundesrepublik Deutschland (München, 28. April bis 9. Oktober 1983) gehalten wurden.

Wissenschaftliche Leitung des Symposiums:

Prof. Dr. W. Engelhardt

Generaldirektor der Naturwissenschaftlichen Sammlungen Bayerns, München

Priv.-Doz. Dr. E. J. Fittkau

Direktor der Zoologischen Staatssammlung, München

Gesamtherstellung: Gebr. Geiselberger, Altötting

SPIXIANA	Supplement 10	55–76	München, 1. November 1984	ISSN 0343-5512
----------	---------------	-------	---------------------------	----------------

Die klimatischen und ökologischen Bedingungen des Fortbestehens des immergrünen tropischen Regenwaldes

Von Wolfgang Weischet

Bei der mir unter der Themenformulierung „Die Entstehung der tropischen Regenwälder“ zur Behandlung angetragenen Problematik spielen zwei Gesichtspunkte die Schlüsselrolle:

- a) die Absicherung der tropischen Regenwälder¹⁾ in Bezug auf das für sie notwendige spezielle Wuchsklima und
- b) die Absicherung gegenüber den Lebensraumansprüchen des Menschen.

Wir werden sehen, daß beide Problemkreise miteinander in Verbindung stehen. Die Verbindungsbrücke geht über die für feucht-tropische Regenwälder charakteristischen Bodentypen.

Hinsichtlich des Klimas ist die folgende Bedingung zu gewährleisten: ganzjähriges Wachstum im thermischen und hygrischen Optimalbereich. Konkret bedeutet das 1. absolute Frostlosigkeit, 2. natürliche Treibhaustemperaturen in einem verhältnismäßig engen tages- und jahreszeitlichen Schwankungsbereich zwischen 20 und 30°C und vor allem 3. kontinuierliche Beregnung derart, daß kein Trockenstress bei der Vegetation auftreten kann.

„Regenwälder der Tropen“ ist zunächst einmal eine strahlungsklimatische Festlegung auf jenen Breitenausschnitt der Erde, in welchem die Sonne mittags das ganze Jahr über hoch bis sehr hoch, wenigstens einmal, normalerweise zweimal im Jahr sogar senkrecht am Himmel steht. Wenn man sich die wahre Verbreitung des immergrünen Regenwaldes etwas genauer ansieht, so ist „tropisch“ sogar nicht hinreichend. Man muß mindestens „innertropische“, könnte auch „äquatoriale Regenwälder“ sagen. Damit wäre nämlich der Tatsache Rechnung getragen, daß in den betreffenden Erdgebieten die Sonne den größten Teil des Jahres mittags nur unmerkbar wenig und für relativ kurze Perioden auch nicht mehr als 20 bis 30° vom senkrechten Stand abweicht. Das hat erhebliche Konsequenzen für die Eindringtiefe des Sonnenlichtes in den Wald selbst, da mit dem hohen Sonnenstand die geringste Schattenwirkung von Blättern und Ästen verbunden ist. Es wird in entsprechenden Beschreibungen der bestandsklimatischen Bedingungen zwar immer mit Recht angeführt, daß am Grund tropischer Regenwälder nur ein mildes Dämmerlicht herrsche. Aber immerhin noch Dämmerlicht, würde ich sagen, trotz eines Bestandes von drei Baumstockwerken, zusammen 40 bis 60 m hoch und dicht durchsetzt von Lianen, Epiphyten, Bodensträuchern und Kräutern, die zusammen eine Biomasse ausmachen, die mit 500 bis 600 t pro ha fast doppelt so groß ist wie in außertropischen Wäldern²⁾.

Für die über längere Zeiträume gemittelten Wärmebedingungen im äquatorialen Kerngebiet feucht-tropischer Tieflandswälder können die Aufzeichnungen in Pará an der Amazonasmündung als charakteristisch gelten: das ganze Jahr über ein fast gleichmäßiger Tagesgang zwischen 23°/24° am frühen Morgen nach äußerst schwacher nächtlicher Abkühlung und ungefähr 30° vom späten Vormittag bis weit in den Nachmittag hinein. Es sind nicht die heißesten Tropen – die liegen jeweils 10 bis 20 Breitengrade südlich oder nördlich des Äquators außerhalb des Regenwaldes – es sind die gleichmäßig wärmsten.

Die Extreme werden abgeblockt durch die Bewölkungs- und Luftfeuchtebedingungen. Die Wolkenbedeckung erlaubt in Regenwaldgebieten in den strahlungsreichsten Jahreszeiten ausnahmsweise um 55 bis 60%, normalerweise weniger als 40% der möglichen Sonnenscheindauer. Und nachts wech-

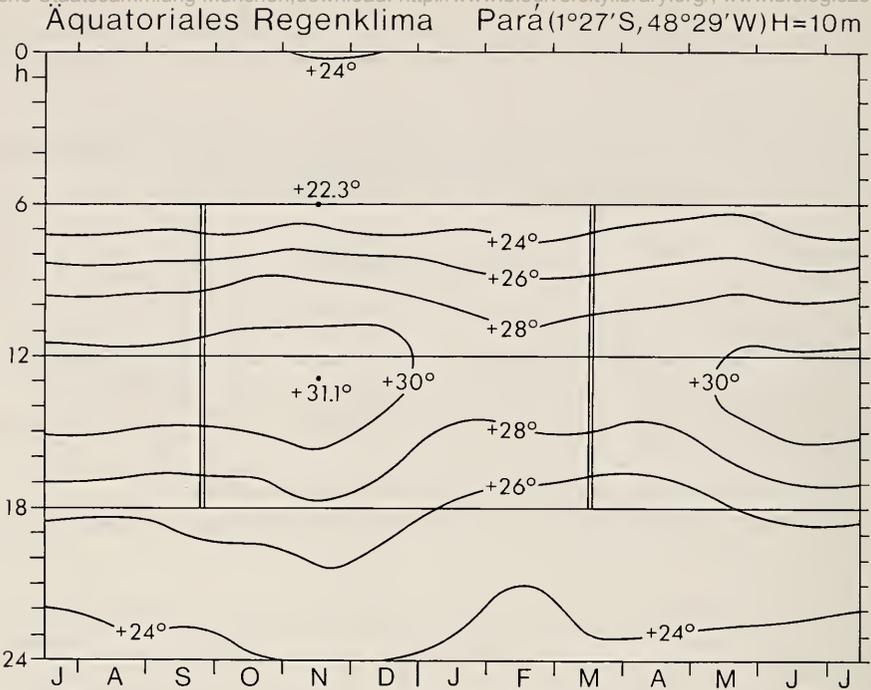


Fig. 1: Mittlerer Tages- und Jahresgang der Lufttemperatur im äquatorialen Regenwaldklima. Aus: BLÜTHGEN-WEISCHET, 1980.

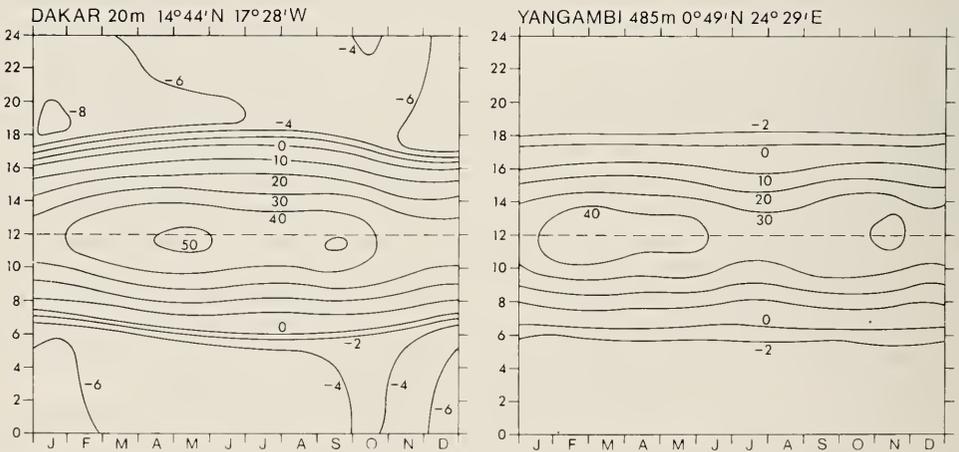


Fig. 2: Mittlerer Tages- und Jahresgang der Strahlungsbilanz im äquatorialen Regenwaldklima (Yangambi) im Vergleich zum wechselfeuchten Klima der äußeren Tropen (Dakar) Werte in cal pro cm² und Stunde. Aus: A. KESSLER, 1973.

selt zwar die Art der Wolken von vorwiegend aufgetürmter Quell- zu flacherer Schichtbewölkung am frühen Morgen, der Bedeckungsgrad aber wird nur unwesentlich kleiner. Zusammen mit der hohen Luftfeuchte wird dadurch eine effektive Ausstrahlung und Abkühlung verhindert. Die klarsten Stunden sind gewöhnlich die am späteren Vormittag, nachdem die Schichtwolken verdampft sind und be-

©Zoologische Staatssammlung München;download: <http://www.biodiversitylibrary.org/>; www.biologiezentrum.at
vor die Quellwolken wieder in Aktion treten. Aber man muß sich hüten, aus dieser Tendenzangabe einen realen, täglich ablaufenden und dem Erleben sich einprägenden Schematismus zu machen. Was sich einem einprägt, ist die Monotonie der schweißtreibenden Schwüle bei Tag und Nacht und die Seltenheit klaren Himmels. Wolken und Wasserdampf sind es auch, welche im Mittel die Werte der über dem Regenwald (z. B. Yangambi) zu registrierenden Bilanzen der Strahlungsenergie nicht übertrieben hoch werden lassen, jedenfalls niedriger als in den äußeren Tropen (Dakar) halten.

Über die Fakten hinaus soll uns die Frage interessieren, wie die Gleichförmigkeit der thermischen Bedingungen auf Treibhausniveau von der atmosphärischen Zirkulation gewährleistet wird, wo doch sonst auf der Erde der stete Wechsel in der thermischen Skala von Wärme oder Hitze und Kühle bzw. Kälte wegen des Energieaustausches zwischen Tropen und hohen Breiten geradezu systemnotwendig ist. Der eigentliche Grund ist der Gürtel von ausgedehnten Hochdruckgebieten, welche im Übergangsbereich zwischen den strahlungsklimatischen Subtropen und Tropen als dynamische und semi-

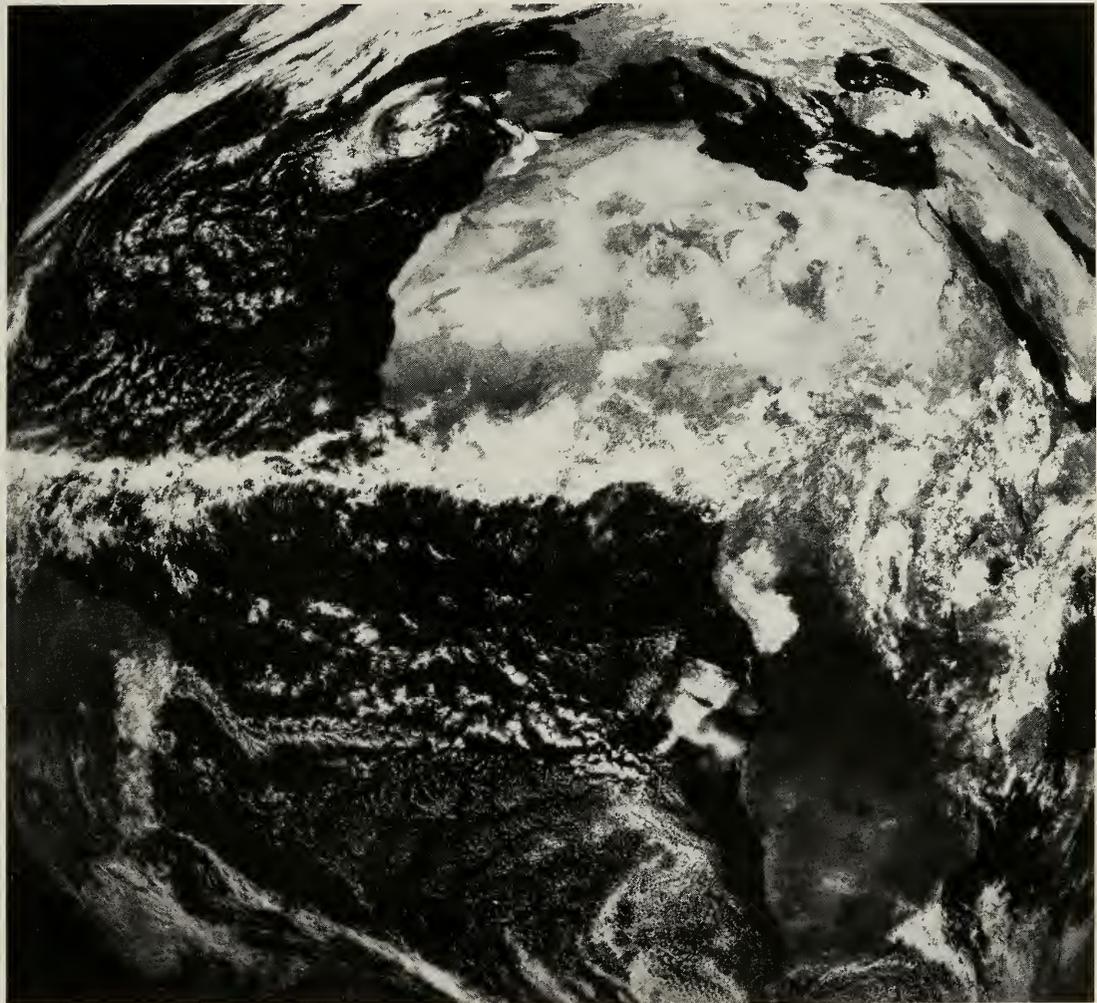


Abb. 1: Ausschnitt aus der METEOSAT-Aufnahme vom 7. Juli 1979, 1155 GMT, Kanal VIS 2. Interpretation der atmosphärischen Vorgänge im Text. (METEOSAT image supplied by the European Space Agency. Operations Centre Darmstadt.)

permanente Ergebnisse der globalen Großzirkulation auftreten. Sie sind die Sperrgürtel, welche die thermische Veränderlichkeit der Außertropen von den Tropen fernhalten. Auf der Aufnahme des geostationären Wettersatelliten der European Space Agency, dem METEOSAT-Image vom 7. Juli 1979 mittags, kann man den Wirkungsmechanismus geradezu sehen. Über dem Atlantik stößt auf beiden Halbkugeln Kaltluft aus höheren Breiten gegen die Tropen vor. Man sieht es an der Anordnung der Wolken zu geometrischen Figuren, welche die Form von Ausstülpungen haben, mit relativ engen Bögen ansetzend und – wegen der Flächenvergrößerung – gegen die niederen Breiten hin zu immer weiteren Bögen ausladend. Auf dem zurückgelegten Weg süd- bzw. nordwärts wird die Kaltluft mit der Zeit schon angewärmt. Jeweils etwas jenseits des Wendekreises endet das Bewölkungsmuster des Kaltluft-einbruchs, abgelöst von einer breiten, fast wolkenlosen Zone. An diese schließt sich – auf der Nordhalbkugel besonders deutlich – eine Zone bis nahe an den Äquator mit NW-SE-orientierten Wolkenstraßen an. Beim Vergleich mit der entsprechenden Luftdrucksituation in der synoptischen Karte liegt über dem wolkenfreien Breitenabschnitt der Kern, die Achse der subtropisch-randtropischen Antizyklone. Hier im Zentrum der Antizyklone, wo die vertikalen Absinkbewegungen besonders effektiv sind und wo dagegen in der Horizontalen Stillstand oder Umlaufen der Luftbewegung vorherrscht, wird die von Norden eingeflossene ehemalige Kaltluft vollends den am Rand der Tropen herrschenden thermischen Bedingungen angepaßt. Sie wird von einer Außertropen- zur Tropikluftmasse transformiert.

Der Luftmassenausfluß auf der Äquatorseite der Antizyklone ist durch seine charakteristische Richtung als Passatströmung zu interpretieren und als solche Glied des tropischen Teiles der Allgemeinen Zirkulation.

Durch den kontinentalen Teil der Antizyklonen durchzuschlüpfen, hat äquatorwärts vordringende Kaltluft erst recht keine Chance, da die Erwärmung durch die sehr viel stärker erhitzte Landoberfläche noch effektiver als über dem kühleren Ozean ist.

(Es gibt auf der Erde eine Gasse der Kaltluftgefährdung in den Tropen; und zwar auf der Ostseite Südamerikas. Wenn antarktische Kaltluft über die Meereisdecke auf das winterliche Ostpatagonien und von dort bei entsprechender Druckkonstellation relativ rasch über die Pampa und die La Plata-Paraguay-Senke nordwärts geführt wird, so kann am Rande der Tropen Südbrasilens noch der Kaffee erfrieren und im Amazonasbecken ein sog. Friagem einen extremen Temperatursturz auf Werte um 15 bis 18° C verursachen.)

Die Tatsache, daß es innerhalb der Tropenzone normalerweise keine Luftmassengegensätze wie in den Außertropen gibt, hat bezüglich der Absicherung der tropischen Regenwälder in hygrischer Hinsicht die Folge, daß die Regen nicht aus weiträumigen Wolkenfeldern im Zusammenhang mit Wetterfronten fallen, sondern aus Konvektionswolken stammen, also aus in der Horizontalen relativ begrenzten Wolkentürmen, die ihre Entstehung der thermischen Konvektion verdanken. Die weniger hohen und oben nicht von einem – im Bild faserigen – Eiswolken- (Cirren) Schirm gekrönten sind Cumuli congesti, die mit Eiswolke oben echte Gewitterwolken-Cumulonimben. Auf den Satellitenbildern erscheinen die letzteren durch den Zusammenschluß der riesigen Cirrenschirme in der Form mehr oder weniger ausgedehnter Cluster (d. s. Gewitterwolkenagglomerationen). Die kleineren unter diesen haben Durchmesser von 50 bis 100 km, die größeren von einigen hundert Kilometern. Die Cumuli congesti decken als Wolkenfeld nicht den ganzen Untergrund ab. Ihr Weiß ergibt mit dem dunkler durchscheinenden Regenwald im Satellitenbild nur ein Mischgrau³).

Die Niederschläge aus solchen Wolken sind Schauer sehr unterschiedlicher Intensität. Mal ist es nur eine kurze Husche von kaum mehr als 1 oder 2 mm, ein ander Mal schüttet es eine halbe Stunde derart, daß selbst die Vögel zu Fuß gehen. Von der kinowirksamen Vorstellung, daß am Ende eines drückend-schwülen Tages abends der erlösende Tropensturzregen mit schöner Regelmäßigkeit niedergehe, wie es auch noch in manchen, sonst durchaus wissenschaftlichen Werken zu lesen steht, sollte man sich frei machen. Die Realität sieht in Meßwerten so aus, daß zwei relativ ausgeprägte Regenzeiten, – die eine im August, September, Oktober, November, die andere im Februar, März, April, Mai –, unterbrochen werden von relativen Trockenzeiten jeweils um die Winter- und Sommersonnenwende, die eine meist deutlicher, die andere weniger deutlich ausgeprägt. Die Regenzeiten sind durch häufigere, als Einzeler-

Stanleyville 1952/53

(00°31'N, 25°11'E, 418 m NN)

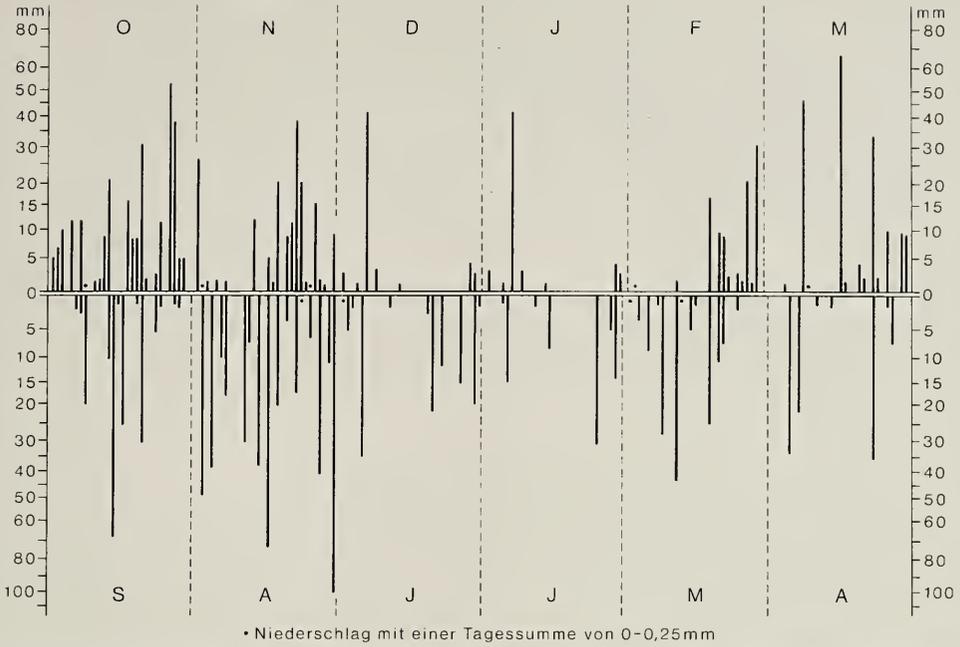


Fig. 3: Für die äquatorialen „immerfeuchten Tropen“ typischer Jahresablauf der Niederschläge, aufgelöst nach den Tagessummen. Die Monate sind nach den natürlichen Jahreszeiten geordnet, angefangen mit dem Oktober.

eignisse weniger ergiebige Niederschlagsereignisse ausgezeichnet; in den sog. Trockenperioden regnet es weniger häufig, dafür aber mit stärkeren Güssen. Da 50 bis 60 mm Regen, verteilt über einige Tage im Monat, im äußersten Fall ausreichen, um bei der vorhergegangenen guten Bodenwasserversorgung einen Trockenstreß der Vegetation zu vermeiden, kann man das Regenwaldklima mit Recht als „immerfeucht“ bezeichnen.

Einen Eindruck von den Zirkulationsprozessen, welche die ganzjährige Regenversorgung gewährleisten, vermögen wieder zwei Satelliten-Aufnahmen zu vermitteln. Das tropisch-konvektive Niederschlagsystem ist ganz allgemein gekoppelt an den Jahresgang der Einstrahlung im Zusammenhang mit der – scheinbaren – Wanderung der Sonne zwischen den Wendekreisen. Die Regenzeit der äußeren wechselfeuchten Tropen fällt jeweils auf die Zeit des höchsten Sonnenstandes. Es sind „Zenitalregen“. Die beiden METEOSAT-Aufnahmen repräsentieren jeweils den Höhepunkt des Nordsommers im August bzw. des Südsommers im Februar. Über dem Atlantik verläuft eine Hauptbewölkungs- und Niederschlagszone, die relativ schmal ist und auch nur eine relativ geringe Breitenverlagerung im Wechsel der Jahreszeiten durchmacht. Dynamisch-klimatologisch gesehen ist das die „Innertropischen Konvergenzzone“ zwischen dem NE-Passat der Nord- und dem SE-Passat der Südhalbkugel¹⁴). Bevor man die täglichen Satelliten-Aufnahmen zur Verfügung hatte, übertrug man die Modellvorstellung von der Konvergenz und ihrem jahreszeitlichen Wandern auch auf die kontinentalen Bereiche der Tropen. (Man liest entsprechende Darstellungen noch in den meisten Lehrbüchern.) Aber das ist unzulänglich, weil man auf diese Weise nicht der Tatsache gerecht werden kann, daß über den Kontinenten sich die Zone mit konvektivem Witterungsgeschehen anstatt nur über ein paar hundert Kilometer über 1500 bis 2000 km erstreckt und dadurch selbst bei den extremen Nord- und Südlagen des Schwerpunktes der Zenitregen jeweils die Mittellagen um dem Äquator mit abdeckt. So bleiben die sog. kleinen und großen Trockenzeiten im Bereich des innertropischen oder äquatorialen Regenwaldes immer

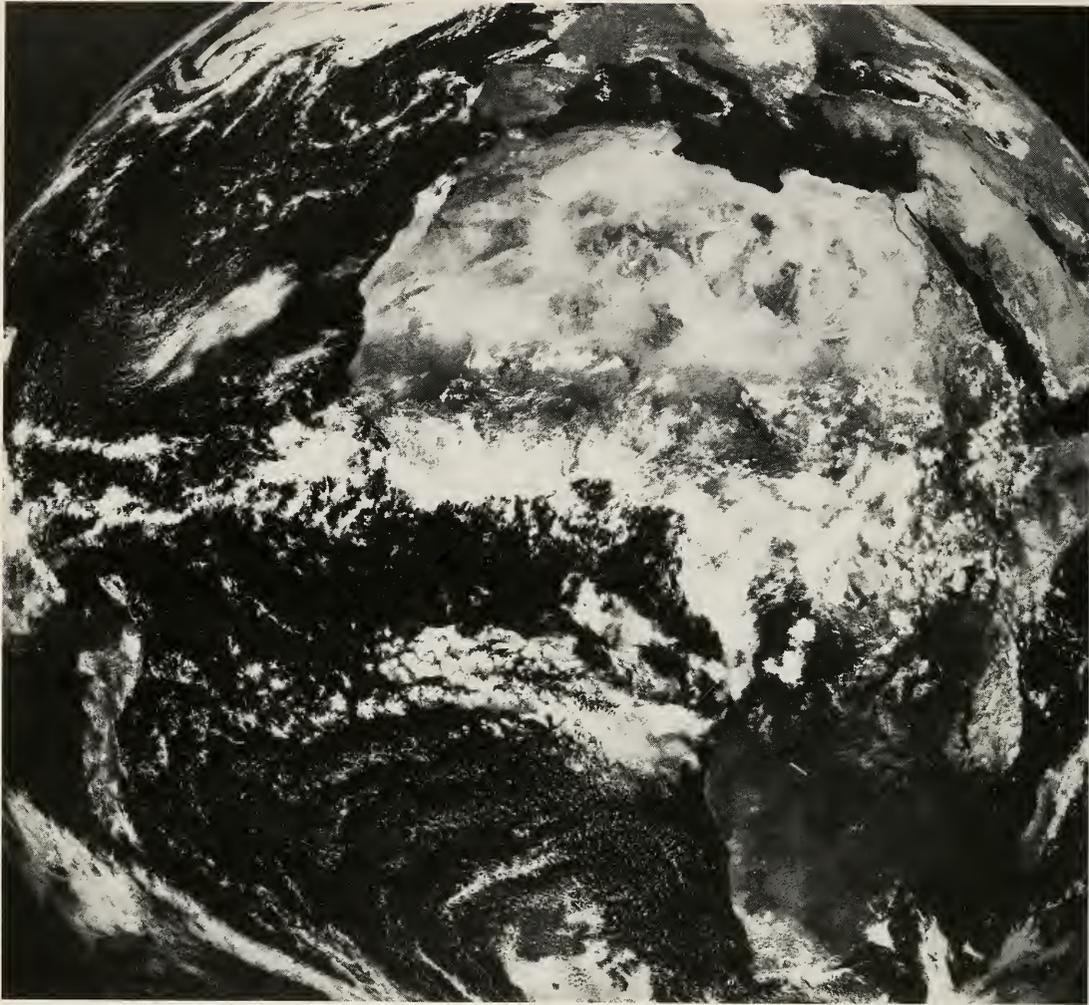


Abb. 2: Ausschnitt aus der METEOSAT-Aufnahme vom 20. August 1978, 1155 GMT, Kanal VIS 2. Die Aufnahme repräsentiert in der Bewölkungsverteilung im Bereich der Tropen die Jahreszeit des Nordsommers mit dem Schwerpunkt der Zenitalregen nördlich des Äquators, wobei über dem Kontinent aber die gesamten äquatornahen Gebiete, also auch die auf der Südhemisphäre, mit einbezogen werden. (METEOSAT image, supplied by the European Space Agency. Operations Centre Darmstadt.)

Jahreszeiten ausreichenden Niederschläges, bei dem zwar die Niederschlagsereignisse weniger werden, die Niederschlagssummen aber ausreichend bleiben, wie in der Fig. 3 gezeigt. Der Grund für die breite Konvektionszone über Land ist keine Konvergenz zwischen Passaten, die Luftmassen von weiter gegeneinander führen, sondern einfach die Tatsache eines ausgedehnten innertropischen kontinentalen Tiefdrucksystems, das mit dem Sonnenstand nur seinen Schwerpunkt nord- und südwärts verlagert und in seinem Wirkungsbereich auf Grund seiner innerzyklonalen Strömungsstruktur Konvektionswolkenbildung zulässt.

Bei dieser Sicht wird auch einem ökologisch folgenschweren Irrtum vorgebeugt, nämlich dem, daß das über den Regenwaldgebieten nieder kommende Regenwasser vorwiegend genährt wird aus einer Zufuhr von Wasserdampf von den verdunstenden Wasserflächen der Ozeane. Inzwischen ist mit ver-



Abb. 3: Ausschnitt aus der METEOSAT-Aufnahme vom 21. Febr. 1978, 1155 GMT, Kanal VIS2. Während über dem Ozean der Bewölkungsgürtel der Innertropischen Konvergenz-Zone nur um wenige Breitengrade weiter äquatorwärts als während des Nordsommers liegt, hat sich über dem Kontinent nun zur Zeit des Südsommers der Bereich mit konvektiver Niederschlagsbewölkung schwerpunktmäßig auf die südhemisphärischen Tropen verlagert. Die Äquatorialregion der Nordtropen bleibt eingeschlossen in diesen Bereich. (METEOSAT image, supplied by the European Space Agency, Operations Centre Darmstadt.)

schiedenen Methoden der sichere Nachweis möglich und geliefert⁵), daß gut die Hälfte der Jahressummen der Gebietsniederschläge in den feuchten Tropen auf dem sog. kleinen Wasserkreislauf beruht, d. h. auf dem recycling des Wasserdampfes, der von der Vegetations- und Landoberfläche in die Atmosphäre verdunstet und hier sofort wieder in Wolken und Niederschlag umgesetzt wird, ohne daß der größere Umweg über Abfluß zum Meer, dortige Verdunstung und Rücktransport des Wasserdampfes zum Land hin genommen wird. – Der tropische Regenwald trägt also durch seine hohe Evaporationsrate erheblich zur Selbstabsicherung seiner Existenzbedingungen in hygrischer Hinsicht bei.

Beseitigung des Waldes bedeutet konsequenterweise bei Vergrößerung des Abflusses zum Meer Verminderung der Evapotranspiration und damit Verminderung der Effizienz des kleinen Kreislaufes,

Nicht minder wichtig wie der Gesichtspunkt der klimatischen Absicherung des tropischen Regenwaldes ist derjenige der Absicherung seiner Existenz gegenüber den Lebensraumansprüchen des Menschen. Bei aller Berechtigung der besorgten Hinweise auf die progressive Vernichtung tropischer Regenwaldbestände in der Gegenwart muß man zunächst aber einmal von dem Faktum ausgehen, daß nach Schätzungen der Experten auf ca. 60% ihres Klimaxareals die tropischen Regenwälder noch im natürlichen oder einem dem natürlichen nahekommenden Zustand vorhanden sind⁷⁾. Das ist ein bemerkenswert hoher Prozentsatz angesichts der Tatsache, daß von den Wäldern der Subtropenregion und denjenigen der sog. gemäßigten Breiten fast nichts mehr im Naturzustand erhalten ist. In den Subtropen ist der Wald schon seit dem Altertum vernichtet; in unseren Breiten war Ende des vergangenen Jahrhunderts auch nichts mehr vom natürlichen laubwerfenden Wald der Mittelbreiten vorhanden. Daß in Deutschland heutzutage fast 40% der Fläche wieder waldbedeckt ist, verdanken wir rigorosen Eingriffen autoritär regierender Obrigkeiten und der Forstwirtschaft. Im Grunde ist der Mensch bei seinem Bestreben, im Laufe der Kulturentwicklung die Naturlandschaften dieser Erde zu seinen Wirtschafts- und Lebensräumen umzuwandeln, der natürliche Feind des Waldes. Im frühen Stadium der Sammler und Jäger waren die offenen Waldsteppen und Steppen sein Revier; die Hauptnahrungs- und Kulturgewächse des Menschen als Ackerbauer sind von Natur aus Steppenpflanzen; wo sie heute in großem Stil intensiv angebaut werden, sind die Landschaften zu „Kultursteppen“ geworden, auch wenn dort vorher Wald gestanden hat. Für solche Umwandlung genügten im vergangenen Jahrhundert in den Kolonisationsgebieten der Neuen Welt 50 bis 75 Jahre.

Vor diesem Hintergrund muß man es sehen, daß vom tropischen Regenwald heute noch mehr als die Hälfte intakt vorhanden ist, vor hundert Jahren vielleicht sogar $\frac{3}{4}$ des Klimaxareals vorhanden war.

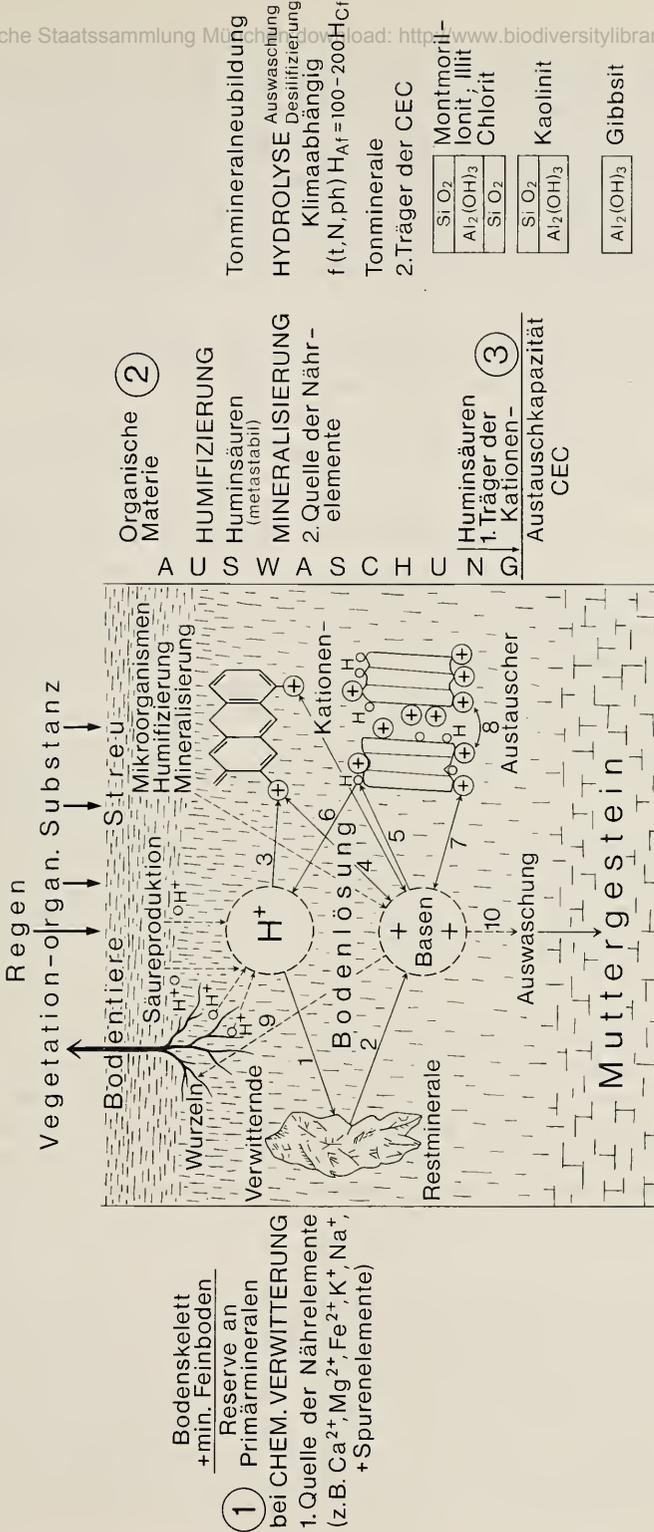
Bei der Frage nach den Gründen dafür müssen die früher häufig geäußerten Argumente, daß das Regenwaldklima für den Menschen auf die Dauer nicht erträglich sei, und daß er deshalb den Regenwald gemieden habe, ausscheiden, da es an vielen, freilich eng begrenzten Stellen alte Kulturgebiete mit extrem hoher Bevölkerungsdichte unter den gleichen Klimabedingungen gibt, wie in der noch fast menschenleeren Umgebung. (Beispiele: Java im Vergleich zu Kalimantan [Borneo], das Nigerdelta in Nigeria, die Städte Iquitos, Manaus, Belém im unbesiedelten Amazonien).

In diesen räumlich begrenzten Dichtengebieten menschlicher Besiedlung im Verbreitungsgebiet tropischer Regenwälder ist die Natur ebenso total in eine Kultur- und Wirtschaftslandschaft umgewandelt worden wie in den Außertropen auch. Aber warum sind es – vor allem in Afrika und Südamerika – nur Inseln in einer im großen Überblick noch mit 1 bis 2 Einwohnern pro km² fast menschenleeren Weite und warum sind gerade im südostasiatischen Regenwald die Kulturräume im Vergleich zu den anderen Gebieten besonders ausgedehnt?

Als Ergebnis langjähriger Bemühungen, dem vielschichtigen Problem durch die vielen sozio-ökonomischen Vordergrundargumente hindurch auf den Grund zu kommen, habe ich 1977 ein Buch geschrieben mit dem Titel „Die ökologische Benachteiligung der Tropen“⁸⁾, in dem eine naturwissenschaftliche Ableitung dafür gegeben wird, was ich heute einmal so formulieren möchte:

Bis auf besondere Gunsträume, welche mit einem Flächenanteil von 15–20% arealmäßig als Ausnahmegebiete zu quantifizieren sind, ist der Mensch in seiner Wirtschafts- und Kulturentwicklung am Ökosystem Tropischer Regenwald gescheitert; und er ist auch am Ende des 20. Jahrhunderts nicht in der Lage, aus 80 bis 85% des Areals tropischer Regenwälder nachhaltig tragfähige Lebens- und Wirtschaftsräume zu machen. Wo er es trotzdem versucht, kommt allenfalls ein kurzzeitiger Raubbau heraus.

Im Folgenden werde ich nun zunächst von diesen 80 bis 85% des Areals⁹⁾ sprechen; die Begründung der Ausnahmegebiete ergibt sich am Ende aus der gleichen Argumentationskette.



1. Quelle der Nähr-elemente
(z.B. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Na^+ ,
+ Spurenelemente)

Organische
Materie

HUMIFIZIERUNG
Huminsäuren
(metastabil)

MINERALISIERUNG
2. Quelle der Nähr-
elemente

Huminsäuren
1. Träger der Nähr-
Kationen-
Austauschkapazität
CEC

Tonmineralneubildung
HYDROLYSE Auswaschung
Desilifizierung
Klimaabhängig
 $f(t, N, \text{pH}) H_{\text{Af}} = 100 - 200 H_{\text{Cf}}$

Tonminerale
2. Träger der CEC

Si_2O_2
$\text{Al}_2(\text{OH})_3$
Si_2O_2

Si_2O_2
$\text{Al}_2(\text{OH})_3$

$\text{Al}_2(\text{OH})_3$

Montmorillonit;
Illit;
Chlorit

Kaolinit

Gibbsit

Fig. 4: Schematisierter Überblick über die ökologisch ausschlaggebenden Bodeneigenschaften, Restmineralgehalt, Gehalt an organischer Substanz und Kationenaustauschkapazität (CEC). Erläuterung im Text.

Grund für das Scheitern ist letztlich das agrartechnische Unvermögen, die für den tropischen Regenwald arealmäßig vorherrschenden und charakteristischen Böden zu nachhaltig produktionsfähigen Ernährungsflächen für den Menschen und seine Haustiere zu machen.

Die charakteristischen Bodentypen der Regenwaldgebiete werden von den Bodenkundlern als Ferralsols, Sols ferrallitiques, tropische Podzole, Oxisols, Alfisols, Luvisols, u. a. mehr bezeichnet¹⁰⁾. Die Fachausdrücke lassen allenfalls beim Fachmann bestimmte Gedankenassoziationen zu ihrer ökologischen Bewertung – auch dann nur im allgemeinen Sinne – zu. Für eine naturwissenschaftliche Ableitung der ökologischen Funktion dieser natürlichen Systeme tropischer Böden bedarf es der Analyse der Funktionsmechanismen.

Von den zahlreichen Eigenschaften, welche die Qualität eines Bodens ausmachen, müssen jene herausgestellt werden, die im ökologischen Zusammenhang die entscheidende Rolle spielen. Ökologisch entscheidend sind letzten Endes jene Qualitäten und Charakteristika, die

1. als Limitierungsfaktoren beim Pflanzenwachstum wirken können, und die zudem
2. beim gegenwärtigen Stand der Kenntnis vom Menschen nicht in großem Stil verändert oder manipuliert werden können.

Unter dieser Randbedingung spielen die folgenden drei Bodeneigenschaften die wichtigste Rolle:

1. der Restmineralgehalt, d. h. die nach der physikalischen und chemischen Gesteinsaufbereitung im Boden verbliebene Menge an Mineralbruchstücken des Muttergesteins. Sie bilden die Mineralreserve und sind die eine von zwei Quellen der für das Pflanzenwachstum unabdingbaren „Nährstoffkationen“. Das sind positiv geladene chemische Elemente wie Calcium, Kalium, Natrium, Magnesium, Eisen und eine Vielzahl von Spurenelementen. Sie werden bei der chemischen Verwitterung in die Bodenlösung freigesetzt, aus welcher die Pflanzenwurzeln sie entnehmen.

2. der Anteil der organischen Substanz am Boden. Diese ist einerseits die zweite Quelle der Nährelemente, die bei der Humifizierung und schließlich bei der Mineralisierung ebenfalls in die Bodenlösung freigesetzt werden und beim sog. recycling wieder in die lebenden Pflanzen aufgenommen werden. Bei der Humifizierung bilden sich außerdem die sehr wichtigen Huminsäuren. Sie bestehen aus Makromolekülen, die als „metastabil“ bezeichnet werden, was bedeutet, daß sie über eine gewisse Zeit im Boden erhalten bleiben, bevor sie endgültig durch Mineralisierung in ihre anorganischen Grundelemente aufgelöst werden. Die Verweildauer der Huminsäuren ist sehr stark vom Klima abhängig, worauf noch zurückzukommen sein wird.

3. Die Kationenaustauschkapazität. Sie ist die dritte entscheidende Bodenqualität, deren eine Trägerin die Huminsäuren in ihrer metastabilen Phase sind.

Mit ihr hat es folgende Bewandnis: Es wurde bereits gesagt, daß die pflanzenverfügbaren Nährelemente in die Bodenlösung freigesetzt werden. Bodenlösung ist das mit Nährelementen angereicherte Bodenwasser. Sie muß in humiden Klimabereichen wie dem tropischen Regenwald, in welchem die Regenmengen größer sind als das von Boden und Pflanzenwelt verdunstende Wasser, einer dauernd abwärts gerichteten Bewegung unterliegen. Dieser Vorgang wird Auswaschung genannt. Wenn er genügend lange ungehindert ablaufen würde, müßte er notwendigerweise zum Ruin allen Pflanzenwachstums führen. Verhindert wird die ökologische Selbsterstörung durch die Kationenaustauschkapazität. Es ist die Fähigkeit eines Bodens, den in die Bodenlösung freigesetzten Kationen eine Zufluchtsstätte vor der dauernden Auswaschung dadurch zu geben, daß die Nährelemente vorübergehend an nicht bewegliche, raumfeste Bodenbestandteile angelagert werden. Als Maß, ausgedrückt in Milliäquivalent pro 100 g Feinboden (mval/100 g), bestimmt die Austauschkapazität die maximale Möglichkeit dessen, was ein Boden pro Gewichtseinheit an Nährelementen in Form von Kationen halten und damit pflanzenverfügbar machen kann. Bei der Agrarkultur bestimmt sie damit auch, wieviel von den durch Düngung zugeführten Nährelementen maximal im Boden aufgenommen und gehalten werden können. Alles was über die Kapazität hinausgeht, wird mit dem Sickerwasser unverwertet ausgespült.

Material		Angenäherte Austauschwerte mval/100 g Trockengewicht*
organisches Bodenmaterial		150-500
Kaolinite	} Tonmineral- gruppen	3-15
Halloysite		5-10
Chlorite		10-40
Illite		10-40
Montmorillonite		80-150
Vermiculite		100-150
Allophane		25-100
Alluminium- und Eisenhydroxyde		4
Feldspäte	} Minerale	1-2
Quarz		1-2
Basalt	} Gestein	1-3
Zeolite		230-260

Tab. 1: Repräsentative Kationen-Austauschkapazitäten für verschiedene Bodenmaterialien (aus: BIRKELAND, P. W.: Pedology, Weathering and Geomorphological Research. London 1974).

Der zweite Träger der Austauschkapazität ist neben den Huminsäuren der Tongehalt des Bodens. Allgemein bekannt ist, daß es sich beim Ton um die kleinsten Bodenbestandteile handelt und daß er durch Wasseraufnahme plastisch wird. Erst in den letzten 30 Jahren haben die Anwendung der Elektronenmikroskopie und anderer technischer Verfahren einige im ökologischen Zusammenhang wesentlich wichtigere Eigenschaften des Tons ans Licht gebracht und zwar

a) die, daß es sich um Mikrokristalle handelt, die während der Bodenbildung im Zuge der chemischen Verwitterung, speziell bei der Hydrolyse der Primärminerale, als Mineralneubildungen erst entstehen (Sekundärminerale),

b) daß es verschiedene Tonmineralgruppen von unterschiedlichem kristallographischem Aufbau sowie mit unterschiedlichen physikalischen und vor allem bodenchemischen Eigenschaften gibt. Unter den letzteren spielt die Kationenaustauschkapazität eine folgenschwere Rolle. Aus den Zahlen der Tabelle wird deutlich, daß die Austauschkapazität der Kaolinite drei- bis viermal kleiner als die der Illite und Chlorite, zehn- bis zwanzigmal geringer als die der Vermiculite und Montmorillonite ist.

c) Die dritte ökologisch wichtige Erkenntnis moderner Tonmineralforschung ist, daß die Tonmineralsynthese im Zuge der tropischen Bodenbildung neben einer rezessiven Abhängigkeit vom Ausgangsgestein eine Dominante von der klimatisch gesteuerten Verwitterungsenergie aufweist.

Der Mensch mag alle möglichen, vor allem die hier gleich übergangenen Textureigenschaften der Böden im Interesse verbesserter Produktion manipulieren können, die drei genannten Eigenschaften sind von der Natur vorgegebene Größen, die im großen Stil nicht veränderbar sind. Der Restmineralgehalt ist eine nach oben unverrückbare Größe, die auf dem Weg über Anbau und Entnahme von Nahrungsgewächsen nur verringert werden kann. Der Gehalt an organischen Substanzen mag lokal bis zu einem gewissen Grade manipulierbar sein, im Mittel über große Regionen aber nicht, weil der Humus,

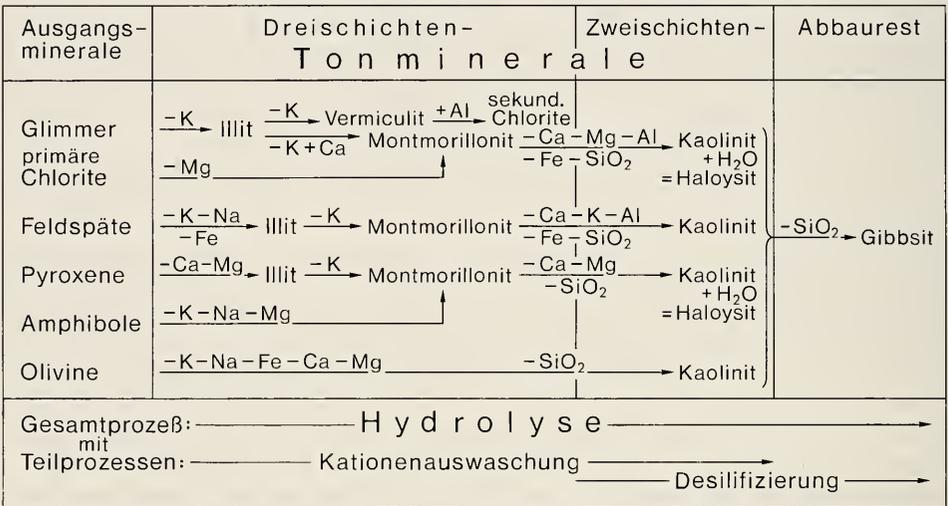
*) 1 Milliäquivalent (mval) ist definiert als 1 Milligramm (mg) H^+ -Ionen oder die Menge irgendeines anderen Kations, das dieses mg H^+ ersetzt, bezogen auf 100 g ofentrockene Substanz. Ein Wert von 10 mval/100 g bedeutet, daß z. B. 100 g trockene Illit-Tonsubstanz 10 mg H^+ absorbieren kann. Von zweiwertig positivem Ca^{++} wird jeweils 1 Ca^{++} -Atom benötigt, um 2 H^+ zu substituieren. Da Ca das Atomgewicht 40 gegenüber 1 von H hat, werden für 1 mval H^+ 40/2 mg Ca, für 10 mval 400/2 = 200 mg Ca benötigt. Bei K^+ (Atomgewicht 39) wären es 390 mg pro 100 g Illit.

Die Austauschkapazität wird bestimmt, indem Boden mit Lösungen von Barium- oder Ammoniumsalzen behandelt wird. Das Ba- oder NH_4 -Ionen verdrängen dabei die austauschbaren Kationen (Ca, Mg, K usw.) in äquivalenten Mengen. Diese müssen dann in der Lösung bestimmt werden.

Stoff	Großbritannien		Mittelmeergebiet		Westghats	
	Gestein	Verwitterungsdecke %	Gestein	Verwitterungsdecke %	Gestein	Verwitterungsdecke %
	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	49,3	47,0	44,7	35,7	50,4	0,7
Al ₂ O ₃	17,4	18,5	15,5	34,9	22,2	50,5
Fe ₂ O ₃	2,7	14,6	7,5	7,9	9,9	23,4
FeO	8,3	-	3,7	0,7	3,6	-
MgO	4,7	5,2	7,9	3,6	1,5	-
CaO	8,7	1,5	15,3	4,9	8,4	-
Na ₂ O	4,0	0,3	1,1	0,9	0,9	-
K ₂ O	1,8	2,5	1,4	3,1	1,3	-
P ₂ O ₅			1,7	2,8		
H ₂ O	2,9	7,2	0,9	5,8	0,9	25,0

Tab. 2: Chemische Zusammensetzung des Verwitterungsmantels eines vergleichbaren Ausgangsgesteins unter außertropischen und tropischen Verwitterungsbedingungen (aus SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1966).

Flußdiagramm der Tonmineralbildung



(unter Benutzung von Vorlagen aus LAATSCH, 1957, SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1976, BIRKELAND, 1974)

Fig. 5: Schematische Darstellung der verschiedenen Stadien bei der Neubildung von Tonmineralen im Zuge der chemischen Verwitterung der im Muttergestein enthaltenen Primärminerale.

der an einer Stelle zu einer bestimmten Zeit zugeführt wird, auf anderen Flächen produziert werden muß. Die Kationenaustauschkapazität hat eine durch den Humus und Tonmineralgehalt des Bodens vorgegebene obere Grenze. Sie kann bei sehr saurer Reaktion des Bodens höchstens noch kleiner, aber über die in der vorausgehenden Tabelle angegebenen Maximalwerte hinaus nicht vergrößert werden.

Angewendet auf die Regenwaldgebiete wußte man schon seit einigen Jahrzehnten, daß die Böden nicht nur besonders tiefgründig, steinfrei, skelettarm und, der Farbe nach zu urteilen, auch relativ humusarm sind, sondern auch, daß selbst bei petrographisch gleichem Ausgangsgestein der Verwitterungsmantel eine ganz andere chemische Zusammensetzung aufweist als in den Außertropen (vgl. Tabelle 2). Während z. B. in Großbritannien das prozentuale Verhältnis der chemischen Hauptkomponenten im Verwitterungsmantel eines Doleritbasaltes nicht sehr verschieden von demjenigen im Ge-

stein selbst ist, fehlt unter den Bedingungen feuchttropischer Bodenbildung im Extremfall am Ende neben allen chemischen Substanzen, die als Pflanzennährstoffe in Frage kommen, auch noch fast die gesamte Kieselsäure. Der Nährstoffverlust wird als Auswaschung, der Verlust der Kieselsäure als Desilifizierung bezeichnet. Was die Auswaschung aus der Perspektive der Wachstumsökologie bedeutet, ist leicht einsehbar. Sie führt zu den normalerweise getroffenen Feststellungen, daß die Böden unter den tropischen Regenwäldern z. B. „arm“, „nährstoffarm“, „unfruchtbar“, „ausgelagert“ seien. Nun, das ist zweifellos ein Mangel, jedoch leider nicht der schlimmste.

Seit Ende der 50er Jahre können die Mineralogen nach elektronenmikroskopischen und chemischen Untersuchungen beweisen, daß mit der Desilifizierung der entscheidende Übergang von den relativ austauschstarken Tonmineralgruppen Illite, Chlorite und Montmorillonite zu den austauschschwachen der Kaolinite verbunden ist.

Und inzwischen liegen auch aus vielen Teilen der Tropen in ausreichender Zahl vollständige mineralogische Analysen vor¹¹⁾, die in Maß und Zahl belegen, daß in den feuchten Tropen als Folge einer hundert- bis zweihundertmal stärkeren chemischen Verwitterung¹²⁾ als in den feuchten Mittelbreiten und als Folge des relativ hohen Alters die Ferralsole sog. „Kaolisole“ sind, d. h. Böden, die in der Tonsubstanz aus Kaoliniten als Tonminerale und sonst aus amorphen Aluminium- und Eisenhydroxyden bestehen und von dort her mit einer äußerst geringen Kationen-Austauschkapazität ausgestattet sind.

Erhebt sich die Frage nach dem Einfluß der Humusstoffe als zweitem Träger der Austauschkapazität. Während – nach Untersuchungen von SOMBROEK im Amazonasgebiet¹³⁾ – die Austauschkapazität der Regenwaldböden sich mit wachsendem Tongehalt kaum verändert (Werte von 2 bis 4 mval/100g), ist mit wachsendem Kohlenstoffgehalt, d. h. also mit wachsendem Gehalt an organischen Substanzen, eine eindeutige und rasche Zunahme festzustellen (auf 30 bis 40 mval/100g Boden bei 3–4% Kohlenstoffgehalt).

Verallgemeinert heißt das, daß unter den tropischen Regenwäldern der größte Teil der vorhandenen Austauschkapazität an die organischen Bodenbestandteile, also Humus und Huminsäuren, gebunden ist, der Anteil der Tonsubstanz an der Austauschkapazität dagegen vergleichsweise klein ist.

Nun gibt es unter Bodenkundlern verschiedener Provenienz Meinungsverschiedenheiten darüber, wie groß die normalen Humusgehalte tropischer Regenwaldböden sind und ob man die Böden als humusarm bezeichnen soll oder nicht¹⁴⁾. Keine Meinungsverschiedenheiten gibt es aber darüber, daß die Abbau-, Mineralisierungs-Rate der Humusstoffe unter feucht-tropischen Bedingungen sicher fünfmal größer ist als in den Waldgebieten der gemäßigten Breiten und daß der normale Humusgehalt der Regenwaldböden nur aufrecht erhalten wird durch den entsprechend großen Auftrag von frischer organischer Substanz aus der Biomasse des Waldes (Blattstreu, vermodernde Äste, verwesende Tierleichen)¹⁵⁾.

Als Konsequenz folgt daraus, daß bei Störung des Gleichgewichtszustandes des Waldes und Umwandlung entsprechender Areale in agrarische Produktionsflächen die Folgen sehr nachteilig sein müssen. Da der Neuauftrag gegenüber dem natürlichen System des Waldes bis auf einen Bruchteil ausfällt (weil ja der größte Teil der produzierten Biomasse als Ernte weggebracht wird), muß die bei Rodung des Waldes vorhandene Humussubstanz des Bodens rapide abnehmen, zumal die Mineralisierungsrate bei der intensiveren Bestrahlung und Belüftung noch ansteigt. Als Richtwert kann man eine Reduktion auf ungefähr die Hälfte innerhalb von 6 Monaten annehmen.

Das bedeutet, daß ohne Gegenmaßnahmen auf gerodeten Parzellen im Regenwaldgebiet nach der ersten oder zweiten Ernte der Humusgehalt des Bodens als der wesentlichste Träger der Austauschkapazität weitgehend verschwunden ist.

Fassen wir zusammen und ziehen die allgemein bekannten Erfahrungswerte über mitteleuropäische Böden zum Vergleich heran:

In den Außertropen reichen die Verwitterungstiefen im Normalfall mehrere Dezimeter, zuweilen 1 bis 1½ m unter die Oberfläche. In den Tropen sind es immer mehrere Meter, nicht selten mehrere

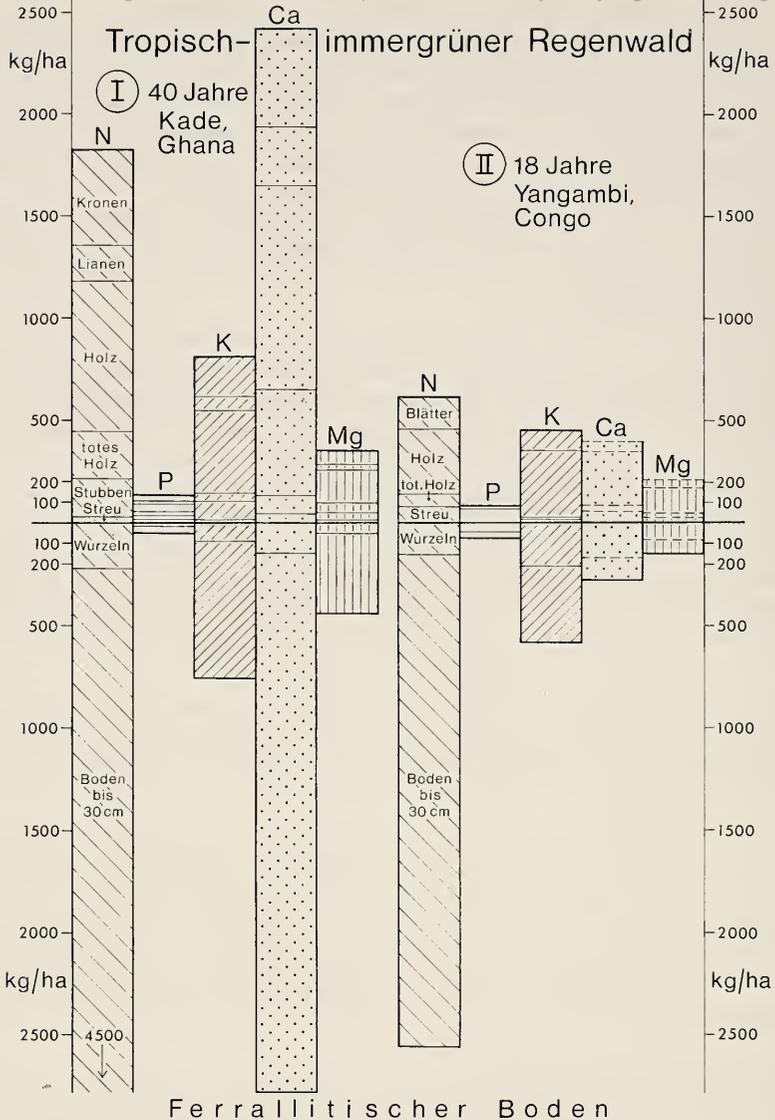


Fig. 6: Verteilung der Nährsubstanzen Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Kalzium (Ca) und Magnesium (Mg) im System Vegetation plus Boden eines 40 Jahre alten immergrünen Sekundärwaldes über einem forest-oxisol und Phylliten als Gesteinsuntergrund in Kade, Süd-Ghana und einem 18jährigen Sekundärwald über Oxisol in Yangambi, Congo. (Gezeichnet nach den Analysendaten von NYE, P. H. and D. J. GREENLAND, 1960).

Zehner von Metern. Das von der Verwitterung gebildete Material besteht in den immerfeuchten, regenreichen Tropen abseits der Gebirge fast ausschließlich aus steinlosem Feinlehm, in welchem der Anteil an noch nicht chemisch umgesetzten Restmineralen des ursprünglichen Gesteins sehr gering ist. Für die Außertropen ist dagegen charakteristisch, daß bis an die Bodenoberfläche die mehr oder weniger stark zerkleinerten Reste des Ursprungsgesteins mengenmäßig deutlich in Erscheinung treten. Dauernd feuchte Tropenböden sind als Folge einer hundert- bis zweihundertfach schneller ablaufenden chemischen Verwitterung an Nährelementen verarmt, ausgewaschen.

Die Tonminerale bestehen in außertropischen Böden im Normalfall aus einem Bouquet regional unterschiedlicher Zusammensetzung aus Illiten, Chloriten und Montmorilloniten, alles relativ siliciumreiche Zwischenstadien der Tonmineralverwitterungskette, während in den feuchten Tropen die kieselensäurearmen Endprodukte Kaolinit und Hydroxyde absolut dominieren. Relativ hohe tonmineralgebundene Kationenaustauschkapazität dort und niedrige in den feuchten Tropen sind die damit notwendig verbundenen Folgen. Der quantitativ wichtigste Lieferant von Nährelementen und ausschlaggebende Träger der Austauschkapazität ist im Regenwaldboden die organische Materie. Bei klimabedingten Mineralisierungsraten, die fünfmal höher sind als in den gemäßigten Breiten, kann ein ausgeglichener normaler Humushaushalt im Boden nur durch extrem großen Auftrag organischer Materie gewährleistet werden. Wenn der wegfällt, verschwindet der Humusgehalt bis auf unwirksame Reste binnen Jahresfrist.

Bei dieser Aufhellung des bodenchemischen Hintergrundes läßt sich in Gedankenexperimenten relativ leicht nachvollziehen, welche Konsequenzen Eingriffe durch den Menschen in das Ökosystem Tropischer Regenwald haben.

Im unberührten tropischen Regenwald funktioniert die Biomassenproduktion (geschätzt werden 32,5 t/ha und Jahr gegenüber 13 t im mitteleuropäischen Buchenwald) in einem direkten Mineralkreislauf¹⁶⁾ innerhalb eines gegen Nährstoffverluste perfekt abgesicherten Systems (Fig. 7). Dabei stecken von dem im Gesamtsystem Boden + Vegetation enthaltenen Gesamt-Nährstoff-Vorrat außer $\frac{3}{4}$ des

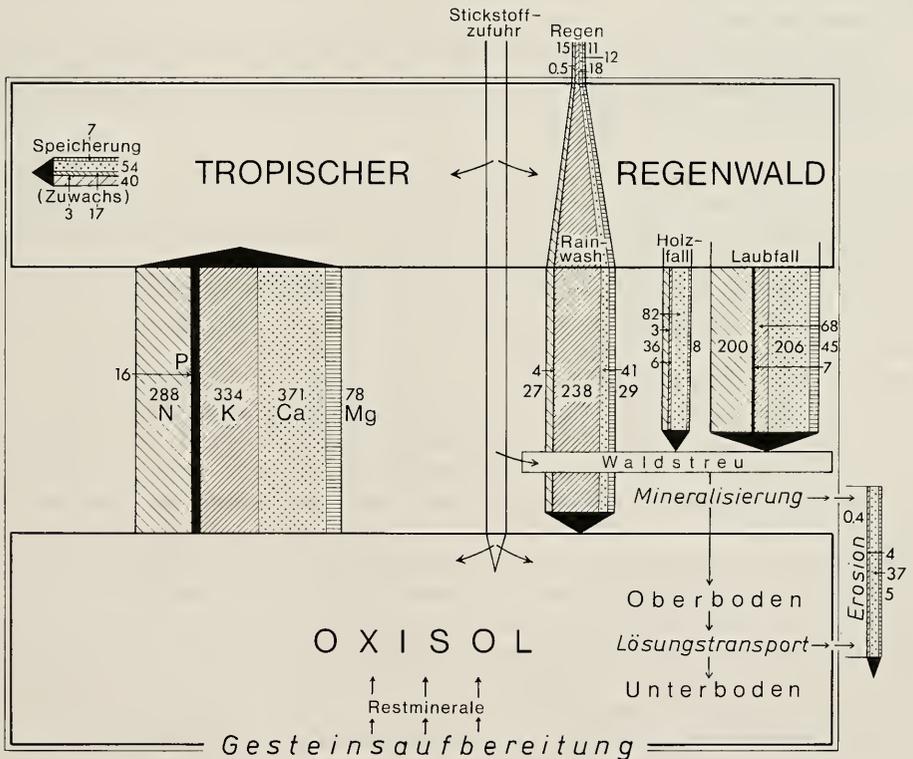


Fig. 7: Schematische Darstellung des – fast geschlossenen – Mineralkreislaufes im Ökosystem eines 40jährigen immergrünen tropischen Regenwaldes in Kade, Süd-Ghana, gezeichnet nach den von NYE, P. H. and D. J. GREENLAND, 1960 angegebenen Daten. (Mengenangaben in kg pro ha und Jahr.)

Kohlenstoffs und mehr als der Hälfte des Stickstoffs auch die deutlich größeren Anteile an Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium in der Biomasse, nur der kleinere Teil im physikalischen System, im Boden bis 30 cm Tiefe (Fig. 6). Durch Regenauswaschung und absterbende organische Substanz von Pflanzen und Tieren werden die mineralischen Nährstoffe über die Humifizierung und Mineralisierung in den Boden gebracht. Hier werden sie aber bereits in den obersten Schichten in den als Nährstoff-Falle wirkenden Mycorrhiza abgefangen. Mycorrhiza sind spezielle Pilzgeflechte an den Wurzeln der ausdauernden Pflanzen, mit denen sie in Form eines Mutualismus, eines Dienstes auf Gegenseitigkeit, leben. Sie helfen einerseits, die abgefallenen Pflanzenteile aufzuschließen und fangen andererseits Nährelemente aus der durchsickernden Bodenlösung ab. Die von ihnen aufgenommenen Substanzen geben sie an die Baumwurzeln weiter. Sie verhindern damit eine Auswaschung der bei der Humifizierung und Mineralisierung freigesetzten Nährelemente in tiefere Bodenschichten oder aber in die Fließgewässer, eine sehr wichtige Funktion angesichts der geringen Austauschkapazität, mit der die Böden selbst versehen sind. Der Gegendienst der höheren Pflanzen besteht darin, daß sie die Mycorrhiza mit Produkten der Photosynthese ernähren. Mit Hilfe dieser „nutrient traps“ gelangen die Nährelemente aus dem organischen Auftrag auf kurzem Weg wieder in die lebende Biomasse zurück¹⁷).

So weit ist es noch ein geschlossenes System ohne Nettoproduktion. Durch die Zufuhr geringer Mengen neuer Nährstoffe von außen über den Regen und in sehr bescheidenem Maße auch aus der Mineralverwitterung in den tieferen Bodenschichten kann zusätzlich noch eine Nettorücklage erfolgen, die relativ groß bleibt, weil die Mycorrhiza den Nährstoffverlust durch Erosion praktisch verhindern.

Als sichtbare Auswirkung und Bestätigung dieses direkten Mineralkreislaufes muß man wohl die Tatsache werten, daß über 80% der Wurzelmasse tropischer Regenwälder in den obersten 30 cm des Bodens konzentriert sind¹⁸).

Aus diesen Zusammenhängen erahnt man schon, daß das System tropischer Regenwald mit seiner üppigen Biomasse und seiner extrem großen Primärproduktion gegen äußere Eingriffe anfällig ist wie ein Bluterkrankter.

Der Mensch, der im frühen Stadium primitiver landbaulicher Tätigkeit Nahrungsgewächse mit der Methode des düngerlosen Anbaus im Bereich des tropischen Regenwaldes zu produzieren versuchte, endete unweigerlich bei der shifting cultivation, also beim Wanderhackbau oder einer der späteren Abwandlungen in Form der Wald-Feld-Wechselwirtschaft, die bis heute im tropischen Afrika und Südamerika die absolut dominierenden Nutzungssysteme sind, im asiatischen Teil der feuchten Tropen noch in vielen Bereichen umgeht und zusammen ein Viertel der gesamten agrarischen Kulturfläche der Erde einnimmt.

Wird der natürliche Wald geschlagen und gebrannt, so wird der in der Biomasse gehortete Nährstoffvorrat zum größten Teil in Form der Aschendünger kurzfristig realisiert, das natürliche System aber gleichzeitig an der entscheidenden Stelle aufgerissen. Die Mycorrhiza stirbt ab, die Nährstoff-Fallen sind damit beseitigt, und die Mineralabfuhr durch Erosion und durch Auswaschung in die Tiefe kann ungehemmt einsetzen. Ein erheblicher Teil der in der Asche vorhandenen Nährelemente geht beim Regenabfluß schon verloren, der andere wird von den Kulturpflanzen gebraucht. Nach zwei bis drei Ernten ist auch der ursprünglich im Boden vorhandene Humusgehalt erschöpft. Die Folge ist ein derart krasser Ertragsrückgang, daß nach 3, spätestens 4 Ernten die gebrannte Parzelle aufgegeben, eine neue nach derselben Methode aufbereitet werden muß. Normalerweise dauert es 12 bis 18 Jahre, bis eine dem natürlichen Zustand vergleichbare Biomasse im Sekundärwald wieder zusammengespant worden ist. Sehr häufig wird aber schon früher wieder gebrannt. Jedenfalls kommt der Mensch später oder früher wieder an dieselbe erste Parzelle, deren Konturen sich aber längst im Wald verloren haben. Diese „Pseudorotation“, wie DE SCHLIPPE sie bezeichnet, kann nicht verhindern, daß im Laufe der Zeit die ganze in Rotation bewirtschaftete Fläche immer ertragsärmer wird und schließlich zur Aufgabe von Hofstelle und Wirtschaftsfläche und zum Neubeginn an anderer Stelle zwingt. Das „shift away“ mit allen seinen Belastungen ist im Regelfall ein Ereignis, das ein shifting cultivator zwei- bis dreimal in seinem Leben durchstehen muß¹⁹).

Es gibt zwar Literatur, in der die shifting cultivation als ein besonders ausgeklügeltes System dargestellt wird, um seine Subsistenz mit dem geringsten Arbeitsaufwand zu sichern²⁰). Bei genauer Betrachtung ist es aber eine arbeitsaufwendige Wirtschaftsweise; zudem eine Sisyphusarbeit, bei der die ganze Bevölkerung für das Nahrungsmittelaufkommen engagiert ist, eine arbeitsteilige Gesellschaft sich nicht entwickeln kann. Bei Tragfähigkeiten von fünf bis zehn Einwohnern pro km² ist wohl die Feststellung von FAO-Experten realistisch, daß – übersetzt – shifting cultivation das größte Hindernis für ein schnelleres Anwachsen der Agrarproduktion ist. Man muß wohl sogar einem intimen Kenner der Kultur der shifting cultivators wie Pierre DE SCHLIPPE zustimmen, wenn er feststellt (in Übersetzung), daß das periodische Verlassen der Hofstellen eine der konsequenzenreichsten Eigenschaften der shifting cultivation ist und daß dies als eine traditionelle Begrenzung allgemeinen Charakters das größte Hindernis auf dem Weg allen Fortschritts in Afrika ist²¹).

Wer mit der Philosophie, daß dieses größte Hindernis auf dem Wege des Fortschritts in erster Linie die Folge verbesserungsfähiger Unzulänglichkeiten des wirtschaftenden Menschen bzw. unterentwickelter sozio-ökonomischer Bedingungen ist und daß es nur eine Frage geeigneten Einsatzes von Material und Kapital sei, um es überwinden zu können, wer mit dieser Philosophie als Entwicklungsstrategie z. B. ans Werk geht, der wird um bittere Erfahrungen mit dem Ökosystem Tropischer Regenwald nicht herumkommen und in den meisten Fällen auch vor gescheiterten Projekten stehen. Leider liegen an diesen Irrwegen nicht nur millionenschwere Ruinen von Entwicklungshilfen, sondern auch viele, viele Gräber von Menschen, die den Versuch mit dem Leben bezahlt haben. Kolonisationsprojekte wie die in der Zona Bragantina, den Colônias Agrícolas am unteren Amazonas bei Santarem oder an der Transamazônica im Amazonischen Regenwaldgebiet haben ebenso wie die Transmigration aus dem überbevölkerten Java nach Sumatra oder Borneo keinen Erfolg in dem Bemühen gehabt, durch regierungsamtlich geplante bessere agrarsoziale Umstände Kleinbauern im Regenwald anzusiedeln²²). Andererseits sind agrarische Großprojekte der Nordamerikaner im Urwald Perus, bei denen der Einsatz der Maschinen dominierte, ebenfalls gescheitert²³). Die in den Außertropen so erfolgreiche Technologie des sog. green revolution technological package ist nicht übertragbar, weil die Grundvoraussetzung „optimaler Nährstoffversorgung“ der Kulturpflanzen nicht zu gewährleisten ist²⁴). Die von der Natur her an Nährstoffen armen Regenwaldböden machen spätestens in der zweiten Anbauperiode nach der Rodung eine künstliche Düngung mit wasserlöslichem Industriedünger notwendig. Die ist aber mit den bei der heutigen Agrartechnik gemeinhin angewandten Methoden nicht zu bewerkstelligen, da künstliche Düngung auf eine ausreichende Austauschkapazität der Böden angewiesen ist. Die entsprechenden Werte betragen bei reduzierten Humusgehalten bei Ferralsoleen zwischen 3,5 und 5,5 mval/100 g gegenüber Normalwerten zwischen 20 und 30 mval/100 g bei Braunerden der gemäßigten Breiten. Bei den relativ hohen Niederschlags- und Sickerwassermengen verschwindet daher wasserlöslicher mineralischer Dünger zum größten Teil in der Tiefe und findet sich am Ende als unerwünschte Düngung in den Fließgewässern wieder. Die Folgen für eine Agrarproduktion in Form halbwegs intensiven Dauerfeldbaus sind offenkundig.

Es gilt bis heute, was Roger REVELLE, der in den 60er Jahren Leiter eines Komitees war, das zur Beratung des US-amerikanischen Präsidenten das World Food Problem mit großem Aufwand analysiert hatte, 1976 bezüglich der für Agrikultur zur Verfügung stehenden resources noch einmal feststellte (in Übersetzung): „Für 1,5 Mrd. Hektar in den feuchten Tropen steht – mit Ausnahme der Insel Java und einigen wenigen anderen Gebieten mit tiefen jungverwitterten Böden – gegenwärtig keine Technologie für eine Hohertrags-Landwirtschaft in großem Maßstab zur Verfügung“²⁵). Auf Java und die wenigen anderen Ausnahmegebiete komme ich gleich zurück.

Zunächst noch das Problem der Ausnutzung der Regenwaldgebiete als Produktionsräume für den wachsenden Holz- und Fleischvieh-Bedarf der Menschheit. Abgesehen von schwerwiegenden Hemmnissen, wie der raschen Vermehrung von Krankheitserregern bei Monokulturen oder der richtigen Wahl klimaadaptierter Arten bzw. Sorten zum Beispiel, abgesehen von solchen Hemmnissen, die man im Laufe der Zeit möglicherweise „in den Griff bekommt“, bleibt immer wieder das gleiche Grundproblem, für das man noch keine Lösungsidee hat, nämlich daß man Biomasse aus einem Pro-

duktionssystem herausnimmt, das vom Menschen künstlich an einer Stelle angelegt worden ist, an welcher das natürliche Produktionssystem, der tropische Regenwald, eindrücklich vor Augen führt, daß dort nur durch geschlossene Systeme ohne Biomassenabtransport, d. h. ohne Nährstoffverlust, nachhaltig prosperierende Existenz von biologischen Systemen möglich ist.

Im Yari-Unternehmen hat Daniel Keith LUDWIG mit seinem Milliardenvermögen im Hintergrund auf einem Gebiet von rund 1000 km² Teile des natürlichen Waldes durch Pflanzungen von *Gmelina arborea* bzw. *Pinus caribea* ersetzt, um die geradezu in die Höhe schießenden Bäume in einer schwimmenden Fabrik zum Exportprodukt Cellulose verarbeiten zu lassen. Nach der Investition von nahezu 1 Mrd. Dollar und dem Verschleiß Dutzender von Experten hat er vor 2 Jahren (1980) aufgegeben und sich auf die Ausbeutung ausgerechnet jenes mineralischen Rohstoffes, des Kaolins, zurückgezogen, der als Bestandteil der Böden, auf denen die „Holzfabrik“ funktionieren sollte, eine wesentliche Ursache von deren Scheitern ist. Es ist, genau wie in den in den 20er Jahren an den Ford'schen Gummipflanzungen von Fordlandia und Bellterra, wieder ein praktizierter Nachweis dafür, daß es mit den bisher bekannten Techniken nicht gelingt, „das Amazonische Urwaldgebiet in ein Land hoher und dauerhafter, exportierbarer Bioproduktion zu verwandeln“²⁶⁾.

Die Rinderfarmen von VW do Brasil liegen schon am Rande des Regenwaldgebietes und dazu im Fußbereich eines kristallinen Mittelgebirges. Sie funktionieren bei sehr kleinem Viehbesatz, wenn man die Mineralernährung der Tiere durch Verfütterung importierter Mineralgemische sicherstellt. Es gibt sicher genügend politische Argumente für die Erschließung der Randgebiete des Amazonischen Regenwaldes auf diese Weise mit großen Viehfarmen. Man möge sich aber nichts vormachen: nur in der politischen Richtung sind die Argumente plausibel; und man möge andererseits auch einsehen und eingestehen, daß vom rein wirtschaftlichen Standpunkt die dünn bestockten Viehweiden über importierten afrikanischen Steppengräsern die extensivste aller denkbaren Nutzungsmöglichkeiten und ihre Anwendungen selbst am Rande des Regenwaldgebietes ökologisch gesehen ein Zuschußunternehmen ist²⁷⁾. Diese Einsicht ist notwendig, um sich vor übertriebenen Ansprüchen und Zukunftsperspektiven zu schützen.

Der Einsicht in das ökologisch Mögliche als Schutz vor Übertreibung in den Ansprüchen an den tropischen Regenwald bedarf es auch bei der Nutzung des natürlichen Waldes als Lieferant von Gebrauchsholz. Die Gewinnung hochwertiger Tropenhölzer und von Brennholz zur Energieversorgung, beide mit Hilfe der „sanften Technologie“ geerntet, ist eine den ökologischen Bedingungen am besten angepaßte Nutzungsart. Die unter der Bedingung nachhaltiger biologischer Reproduktion für den Regenwald Zaires von GRAMMEL²⁸⁾ auf 0,5 bis 2 m³ pro ha und Jahr abgeschätzten Nettoproduktionswerte zeigen beim Vergleich mit Wäldern der Bundesrepublik (4,5 m³) oder Baden-Württemberg (7 m³/ha und Jahr) doch auch hier die engen Grenzen. Und wenn die von der FAO vertretene Auffassung stimmt, daß zur Gewinnung von 10% eines Regenwaldbestandes 55% der umliegenden Kronenblattmasse zerstört wird, und daß 10% des durch Stammholznutzung aufgeschlossenen Waldareals durch nachrückende squatter durch Brennen in clearings für shifting cultivation verwandelt werden²⁹⁾, so muß die Holzgewinnungstechnologie noch sanfter, d. h. bestandschonender werden³⁰⁾.

Und nun noch die Ausnahmegebiete, für die all das nicht gilt, was bisher hinsichtlich der Restriktionen und des Scheiterns gesagt worden ist. Die Argumentation geht auf dieselben Grundelemente, nämlich Mineralreserve, Austauschkapazität und deren Konsequenzen zurück. Klassisches Beispiel für den gravierenden Gegensatz ökologisch unterschiedlich begründeter Lebensräume ist Java mit Bali und Lombok im Vergleich zu Sumatra und Kalimantan (Borneo).

In Java rechnen agrarwirtschaftlich begründete Lebensräume mit 200–300 E/km² zu den relativ dünn besiedelten. Normalwerte liegen bei 400 E/km², Extremwerte bei 800–1000. In Sumatra hingegen sind Gebiete mit 100–200 E/km² Dichtegebiete, in vielen Teilen bleibt es bei 50–100 E/km². Und gleich gegenüber in demselben Klimaraum liegt das fast menschenleere Borneo³¹⁾. Man darf ja wohl davon ausgehen, daß sich im Laufe der Kulturgeschichte dieses Raumes längst vollzogen hätte, was heute unter dem Projektnamen „Transmigration“³²⁾, von der Indonesischen Regierung geplant und

gelenkt, versucht wird, nämlich eine Entlastung der überbevölkerten und Inwertsetzung der leeren Räume, wenn es sich um gleichwertige bzw. gleich entwickelbare Naturräume handeln würde. Die Tatsache, daß es nicht geschah, kann man nur auf der Basis verstehen, daß die Vorbedingungen für eine Inwertsetzung als agrarwirtschaftliche Lebensräume so kraß gegensätzlich sind, wie man es sich für Gebiete der Außertropen nicht vorstellen kann. Die Ursache dafür ist die geologische Struktur mit den daraus resultierenden Konsequenzen für die Verwitterungsböden. Java, Bali, Lombok sind Inseln mit kalkigem und vulkanogenem Gesteinssockel, auf dem bis heute tätige Vulkane sitzen. Stark basisches Muttergestein und Restmineraldüngung durch basische vulkanische Auswurfmassen bedingen Verwitterungsböden mit gutem bis sehr gutem Basenstatus. Hoher Basenstatus bedeutet Reichtum an Nährstoffkationen, Bremsung der Hydrolyse, keine Kaolinisierung, günstige Austauschkapazitäten der Böden, höhere als in den sog. gemäßigten Breiten³³). Solche Grundlage erlaubte früh den Übergang zu Dauerfeldsystemen, die im Zuge einer prosperierenden materiellen und geistigen Kulturentwicklung zu minutiös ausgefeilten Nutzungsformen ausgebaut wurden.

Ähnlich gelagert ist der Grund für die dicht bevölkerten Kleinstaaten Rwanda und Burundi oder die Lebensräume am Kamerunberg inmitten der schwach bevölkerten Busch-Feld-Wechsel-Lebensräume, die für das sonstige Regenwaldgebiet Tropisch-Afrikas charakteristisch sind³⁴).

Eine zweite Möglichkeit natürlicher Rest-Mineral-Kopfdüngung bieten die Weißwasserströme tropischer Tiefländer. Mit den jahresperiodischen Überflutungen wird auf den Dammufern dieser Ströme Millimeter für Millimeter neue Mineralsubstanz aufgetragen, die aus den Abtragungsgebieten im Oberlauf der Ströme stammt. Die rasche chemische Verwitterung der Tropen sorgt für die Aufschließung der Reserven in den mineralischen Rohböden. Folge: entlang der Weißwasserströme ziehen die Gassen hoher Bevölkerungsdichte und Dauerfeldkulturen durch die „Grüne Hölle“ des Regenwaldes.

Die dritte Möglichkeit basenreicher frischer Böden ergibt sich dort, wo auf hängigem Gelände im Bereich von Hügel- und Bergländern im Zuge der Bodennutzung verstärkte Bodenerosion stattfindet. In anderen Gebieten bedeutet Bodenerosion zweifellos fortlaufende Zerstörung der Produktionsgrundlage. Im Bereich des tropischen Regenwaldes führt die extrem starke chemische Verwitterung zu genügend rascher Aufarbeitung des Muttergesteins und zum Nachschaffen von Nährelementen.

Vulkanismus, Gebirgländer als Abtragungsgebiete, Weißwasserströme mit ihren Alluvialebenen zeichnen vor allem die südostasiatischen Tropen aus. Die Superposition dieser Gunstfaktoren läßt verständlich erscheinen, daß in den südostasiatischen Tropen die Ausnahmeräume konzentriert sind und einen erheblich größeren Flächenanteil als im Mittel über die gesamten Tropen ausmachen. $\frac{3}{4}$ der Tropenbewohner leben im asiatischen Teil.

Nun kann man der Meinung sein, daß – wenn der Mensch bisher am Ökosystem Tropischer Regenwald gescheitert ist – man alles daran setzen müsse, letztlich sich doch auch dieses Stück der Erde untertan zu machen. Doch Gott sei Dank ist dem Menschen nicht nur das Feuer und die Fähigkeit gegeben, sich wie die Axt im Walde zu benehmen, sondern auch der Verstand, der sich u. a. in nüchternen wissenschaftlichen Erkenntnissen manifestiert. Worauf es ankommt ist, den Aufschub, der dem Menschen durch das bisherige Scheitern gewährt, geschenkt, aufgezwungen, verordnet oder per Zufall zugespült wurde (wie immer man es nennen will), zu nutzen, um der Vernunft eine Gasse zu schlagen, damit nicht durch sinnlose Anwendung technologischer Brachialgewalt zerstört wird, was die Menschheit im Ökosystem unseres Blauen Planeten Erde für seine Zukunft dringend benötigt: den Tropischen Regenwald.

Anmerkungen und Literaturhinweise zum Vortragstext

- 1) Im Folgenden wird entsprechend der einschränkenden Sinnggebung durch den Obertitel des Symposiums unter dem Begriff „tropischer Regenwald“ der „immergrüne tropische Tieflandswald“ verstanden.
- 2) RODIN, L. E. und N. J. BASILVIČ 1968: World distribution of plant biomass. – In: Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. – Proc. of the Copenhagen Symposium. UNESCO-Paris p. 45–50
KLINGE, H. 1972: Biomasa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva Centro-Amazónica. – IV Congr. Latino-Americano de la Ciencia del Suelo. – Maracay, Venezuela.
- 3) Erläuterung der genetischen Wolkenformen und ihre Abbildung in Satelliten-Aufnahmen z. B. in WEISCHET 1983: Einführung in die Allgemeine Klimatologie. – 3. Aufl. Stuttgart. 192 ff.
- 4) Begründende Ableitung der tropischen Zirkulation z. B. in WEISCHET (l. c.) S. 210 ff.
Die ausführliche Interpretation von Wolkenbild und daraus ableitbaren Strömungsverhältnissen in der Atmosphäre in WEISCHET: Klimatologische Interpretation von METEOSAT-Aufnahmen I–XII. – Geogr. Rundschau, 1979 (8) bis 1980 (8).
- 5) Siehe: SALATI, E., MARQUES, J., e L. C. MOLION 1978: Origem e distribuição das chuvas na Amazônia. – Inter-ciência 3: 200–222
oder WEISCHET; Klimatologische Interpretation von METEOSAT-Aufnahmen. Teil VII. – Geogr. Rundschau 1980 (2): 80–84
- 6) FLOHN, H. 1961: Man's activity as a factor in climatic change. – In: Annales of the New York Acad. of Sciences 95; 271–281
NEWELL, R. E. 1971: The Amazon Forest and Atmospheric General Circulation. – In: MATTHEWS, W., KELLOG, W. H.; ROBINSON, G. D. (Hrsg.): Man's Impact on the Climate. – Cambridge/Mass., London. p. 457–460
FARNWORTH, G. F. & F. B. GOLLEY (Hrsg.) 1974: Fragile Ecosystems. Evaluation of Research and Applications in the Neotropics. – Darin Kap. 6, V 2: Man's activities in the tropics that might affect climate. – Berlin, Heidelberg, New York 210 ff.
LETTAU, H. 1975: Anthropogene Beeinflussung von Klima- und Witterungsparametern. – In: Annalen der Meteorologie NF 9, 9–13
POORE, D. 1976: The value of tropical moist forest ecosystems and the environmental consequences of their removal. – In: Unasylva 28, No. 112–113, 127–143
HAMPICKE, W. 1979: Man's impact on the earth's vegetation cover and its effect on carbon cycle and climate. – In: BACH, W., PANKRATH, J., KELLOG, W. (Hrsg.): Man's Impact on Climate. – Amsterdam, Oxford, New York. 139–159
THOMPSON, K. 1980: Forests and climate change in America: Some early views. – In: Climatic Change, Vol. 3, No. 1, 47–64
STEIN, N. 1981: Is the Large-Scale Destruction of Tropical Rain Forests necessarily crucial for the Global Carbon Cycle? – In: Beyond the Energy Crisis. Opportunity and Challenge. – Oxford, New York 715–725
- 7) KÖPP, H. 1979: Alarmierende Waldverluste in vielen Entwicklungsländern. FAO-Aussagen auf dem 8. Weltforstkongress in Indonesien: „Wälder und Menschen“. – In: Natur und Landschaft 54: 155
American Academy of Sciences 1980: Conversion of tropical moist forests. Washington.
SOMMER, A. 1976: Attempt at an assessment of the world's tropical moist forest. – Unasylva 28: 5–24
STEINLIN, H. 1981: Die Zukunft des Tropenwaldes. – Holz aktuell 3, Reutlingen: 82–86
WEISCHET, W. 1981: Ackerland aus Tropenwald – eine verhängnisvolle Illusion. – Holz aktuell 3, Reutlingen: 15–33
- 8) WEISCHET, W. 1980: Die ökologische Benachteiligung der Tropen. – 2. Aufl., Stuttgart.
- 9) Diesen Prozentsatz ergibt z. B. die Studie der Arbeitsgruppe des Science Advisory Committée des US-amerikanischen Präsidenten von 1967. REVELLE, R. et al. 1967: Water and Land. – In: The World Food Problem. Chapt. 7. Washington.
Auch in WEISCHET, W. 1981: Die Grüne Revolution. Erfolge, Möglichkeiten und Grenzen in ökologischer Sicht. – 2. erw. Auflage, Fragenkreise 23 519, Paderborn. Oder in dem unter 7 genannten Aufsatz in Holz aktuell 3/1981, 15–33
- 10) GANSEN, R. und HÄDRICH, F. 1965: Atlas zur Bodenkunde. B. I. – Hochschulatlanten 301 a–301 c. Mannheim.
AUBERT, G. 1965: Classification des sols. Tableaux des classes, sous classes, groupes et sous groupes de sols, utilisés par la Section de Pédologie de l'ORSTOM. – Cah. ORSTOM, Ser. Pédologie 3: 269–288

- D'HOORE, J. L. 1964: Soil Map of Africa, 1:5 Mill. – Com. de Coopération technique en Afrique du Sud du Sahara. Lagos.
- SANCHEZ, P. A. 1976: Properties and Management of Soils in the Tropics. – New York, London
- SCHMIDT-LORENZ, R. 1971: Böden der Tropen und Subtropen. – In: Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern. Bd. 2, Stuttgart.
- MOHR, E. C. J., F. A. VAN BAREN, J. VAN SCHUYLENBORGH 1972: Tropical Soils. – 3. ed. The Hague.
- SOMBROEK, W. G. 1966: Amazon Soils. – Center of Agricultural Publications. Wageningen.
- FAO/UNESCO 1974: Soil Map of the World. Vol. 1 (Legend), Paris.
- BUNTING, B. T. 1969: The Geography of Soil. – London.
- 11) Entsprechende Analysentabellen enthält das unter 10) zitierte Buch von MOHR, E. C. J., VAN BAREN and VAN SCHUYLENBORGH.
- 12) Abschätzung in MILLOT, G. 1970: Geology of Clays. London.
- 13) SOMBROEK, W. G.: in dem unter 10) angegebenen Werk, S. 233
- 14) Ausführlich diskutiert wird die Frage von SANCHEZ in dem unter 10) aufgeführten Werk.
- 15) SANCHEZ in dem unter 10) zitierten Werk.
- NYE, P. K. and D. J. GREENLAND geben in ihrem fundamentalen Werk "The soil under shifting cultivation". Commonwealth Bureau of Soils. Techn. Com. Nr. 51. Comm. Agr. Bureaux, Farnham Royal, Bucks 1960 Zersetzungsraten von 170% in einem Jahr an.
- H. KLINGE führt in Tab. b der unter 2) genannten Publikation eine Zersetzungsrate von 117% für 145 Tage einer allerdings sehr regenreichen Periode an.
- 16) Die Fig. 6 und 7 sind nach den von NYE, P. H. and D. J. GREENLAND in dem unter 15) zitierten Werk angegebenen Analysendaten gezeichnet. Die Zahlen in Fig. 7 gelten für einen 40jährigen immergrünen tropischen Sekundärwald in Kade, Süd-Ghana, und sind Mengenangaben in kg pro ha und Jahr.
- Zur „Direct Mineral Cycling Theorie“ vgl. F. W. WENT and N. STARK 1968: Mycorrhiza. Bio. Science 18: 1035–1039.
- 17) Die experimentellen Arbeiten, die in den 50er Jahren vor allem von schwedischen Botanikern (E. MELIN, H. NILSSON) durchgeführt wurden, sowie die Ergebnisse praktischer Feldarbeiten durch den Bodenkundler S. A. WILDE sind ausführlich referiert in: WEISCHET 1977 bzw. 1980: 116–120
- 18) H. KLINGE und E. J. FITTKAU 1972: Filterfunktion im Ökosystem des zentralamazonischen Regenwaldes. – Mitt. Dtsche. Bodenkdl. Ges. 16: 130–135
- GREENLAND D. J. and J. M. L. KOWAL 1960: Nutrient content of moist tropical forest of Ghana. – Plant and Soil 12: 154–174
- 19) DE SCHLIPPE, P. 1956: Shifting cultivation in Africa. – London.
- 20) Eine konzentrierte Übersicht über die sozio-ökonomischen Gesichtspunkte und Standpunkte findet man in HODDER, B. W. 1973: Economic Development in the Tropics. – London.
- 21) DE SCHLIPPE, P. in dem unter 18 zitierten Werk.
- 22) Vgl. die Ausführungen von KOHLHEPP in diesem Symposiumsband. Ferner: SIOLI, H. 1983: Amazonien: Zivilisatorischer „Wildwuchs“ im vernetzten Urwaldsystem. – In: Im Gespräch 1; 19–223 (vgl. auch 32).
- 23) SANCHEZ, P. A. in dem unter 10) zitierten Werk. S. 389–395
- 24) WEISCHET, W. 1981: Die Grüne Revolution. Erfolge, Möglichkeiten und Grenzen in ökologischer Sicht. – 2. Aufl., Paderborn.
- 25) REVELLE, R. 1976: The Resources Available for Agriculture. Scientific American 235: 165–178
- 26) SIOLI, H. 1983: Amazonien: Zivilisatorischer „Wildwuchs“ im vernetzten Urwaldsystem. – In: Im Gespräch 1; 19–23
- 27) vgl. die Beiträge von KOHLHEPP und LUTZENBERGER.
- 28) GRAMMEL, R. 1981: Zaïre – das Waldland Afrikas. Holz aktuell 3, Reutlingen: 66–71
- 29) Referiert in der unter 7) angeführten Arbeit von SOMMER.
- 30) Grundsätzliche Gesichtspunkte dazu von SPEIDEL, G. in dem Artikel: Der Amazonaswald – eine Herausforderung an Wissenschaftler, Techniker und Politiker. Holz aktuell 3, Reutlingen 1981: 34–39
- 31) Entsprechende kartographische Darstellungen enthält das Werk TREWARTHA, G. T. 1972: The less developed Realm: A Geography of its Population. – New York.
- 32) PIANKA, H.-G. 1970: Zur Problematik der Transmigration in Indonesien. – Ein Beitrag zur Bevölkerungspolitik. – In: Internat. Asienforum. H. 4: München.
- ZIMMERMANN, Gerd, R. 1975: Transmigration in Indonesien. Eine Analyse der interinsularen Umsiedlungsaktionen zwischen 1905 und 1975. – In: Geogr. Zeitschrift 63: 104–122

- 33) MOHR, VAN BAREN, VAN SCHUYLENBORGH stellen in dem unter 10) zitierten Werk Profilanalysen vor, die für „vertisolic soils of Java“ Austausch-Werte von 69,7–85,7 mval/100 g Ton angeben (S. 316). Die Basensättigung dieser Böden dürfte wie bei entsprechenden Böden auf dem Dekkan-Plateau bis zu 100% betragen (S. 313).
- 34) Rwanda und Burundi hatten Mitte der 60er Jahre Bevölkerungsdichten von 115 bzw. 105 Einw. pro km² gegenüber 5 in Zambia, 11 in Kamerun oder 28 in Togo. Vgl. dazu die Karte von E. SCHMIDT und P. MATTINGLY 1966 in: Das Bevölkerungsbild Afrikas um das Jahr 1960. – Geogr. Rdsch. **18**: 447–457

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. W. Weischet,

Institut für Physische Geographie, Albert-Ludwig-Universität

Werderring 4, D-7800 Freiburg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Spixiana, Zeitschrift für Zoologie, Supplement](#)

Jahr/Year: 1984

Band/Volume: [010](#)

Autor(en)/Author(s): Weischet Wolfgang

Artikel/Article: [Die klimatischen und ökologischen des Fortbestehens des immergrünen tropischen Regenwaldes 55-76](#)