

Zeitschrift:	Acta Tropica
Herausgeber:	Schweizerisches Tropeninstitut (Basel)
Band:	3 (1946)
Heft:	3
Artikel:	Die Erschöpfung tropischer Böden infolge der Entwaldung
Autor:	Rawitscher, Felix
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-310016

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

(Departamento de Botanica da Faculdade de Philosophia, Sciencias e Letras
da Universidade de São Paulo, Brasil.)

Die Erschöpfung tropischer Böden infolge der Entwaldung.

Von FELIX RAWITSCHER.

(Manuskript eingegangen 31. Mai 1946.)

Von außerordentlich großer Bedeutung — in wirtschaftlicher wie kultureller Hinsicht — ist die schnelle Verschlechterung der Böden in feuchten tropischen Gebieten, sobald diese der Kultivierung unterworfen werden. In solchen Gebieten ist die naturbedingte oder Klimaxvegetation der Urwald. Urwaldböden, unmittelbar nach der Rodung, liefern häufig außerordentlich fruchtbare Land, und selbst wenn sie sich auf geologisch ungünstigem Untergrund befinden, geben sie relativ gute Erträge.

Diese Fruchtbarkeit verschwindet in der Regel sehr bald nach der Rodung und Bebauung. Die Ernteerträge werden geringer und die Pflanzungen werden aufgegeben; an ihre Stelle tritt Weideland, und die Anbauzone anspruchsvollerer und besser rentierender Gewächse wird weiter nach vorn verlegt. Neue Urwaldstrecken werden aufgeschlagen, während hinter der stetig vorschreitenden Front weite Gebiete entwerteten Landes zurückbleiben. Sich selbst überlassen, würden diese sich häufig wieder mit neuem Wald bedecken — soweit die durch die Kultur bedingten Eingriffe nicht den Boden schon so sehr verändert haben, daß der Wald nur noch schwer oder gar nicht mehr aufkommt. In der Regel machen sich aber hier, im Rücken der vorschreitenden Rodungs- und Kulturzone, so starke menschliche Einflüsse geltend, daß die Veränderung, und meistens Verschlechterung, der Böden noch weitere Fortschritte macht. Das Land, wenn auch wenig gepflegt, bleibt dem Weidegang geöffnet. Entnahme von Feuerholz und gewöhnlich mehr oder weniger regelmäßiges Abbrennen sorgt dafür, daß die ehemaligen Kulturflächen nicht mehr in ihren ursprünglichen Zustand zurückkehren. Die einstige Fruchtbarkeit wird schnell vergessen; die nunmehrige Unfruchtbarkeit wird dem Klima oder der Natur des Bodens zugeschrieben, ganze Landstrecken gelten als für dichtere Besiedlung ungeeignet, außerordentlich große Werte gehen verloren.

Da seit prähistorischen Zeiten große Teile der Erdoberfläche besiedelt, und somit menschlichen Kultureinflüssen unterworfen

worden sind, müssen wir damit rechnen, daß dieselben sich bereits in einem Zustand der Degradation befinden, der ihren ursprünglichen Charakter überhaupt nicht mehr erkennen läßt. Dies gilt vor allem von den alten Kontinenten Asien und Afrika, während Amerika, wenigstens in seinen tropischen Zonen, sicher erst später und immer weniger dicht besiedelt worden ist. In Südamerika finden wir noch, sogar verhältnismäßig nahe heutigen Kulturstzentren, weite mit Urwald bestandene Landflächen, von denen angenommen werden kann, daß sie jetzt zum ersten Male in Kultur genommen werden, und an denen sich der oben skizzierte Vorgang der Bodenerschöpfung gut verfolgen läßt.

Wie umfangreich die Folgen der erwähnten Bodenverschlechterung sind, läßt sich heute schwer feststellen, weil wir von vielen jetzt unfruchtbaren Landstrichen nicht sagen können, ob sie seit jeher unfruchtbar gewesen sind, oder ob sie erst durch menschliche Einwirkung ihren heutigen Charakter erhalten haben. Um zu erfahren, *wie schnell und tiefgreifend* derartige Bodenverschlechterungen vor sich gehen können, brauchen wir aber nicht weit zu gehen. In dem zeitgenössischen Roman von Steinbeck «Grapes of Wrath» wird der Exodus einer ganzen bäuerlichen Bevölkerung aus dem Staate Oklahoma beschrieben, dessen ursprünglich fruchtbare Boden infolge unangebrachter Kulturmethoden der Unfruchtbarkeit und dem Ruin entgegengeführt worden ist. Denn im Süden der Vereinigten Staaten von Amerika machen sich schon dieselben Einflüsse geltend, die in verstärktem Maße in den tropisch feuchten Gebieten auftreten, und von denen im folgenden die Rede sein soll.

Wir dürfen die hier geschilderten Erscheinungen nicht mit der *oberflächlichen Bodenerosion* verwechseln, die häufig auftritt, sobald der Boden die schützende Decke seiner ursprünglichen Vegetation verliert. Wenn die Oberfläche des Bodens frei den Einflüssen des Windes, der Sonne und des Regens ausgesetzt wird, verliert sie das Vermögen, die stärkeren Niederschläge aufzunehmen; diese fließen an der Oberfläche ab (runoff); ihre erodierende Kraft schafft Furchen oder «gullies», welche das Land zerteilen und mit Gräben und Schluchten durchsetzen, in denen die ehemals fruchtbare Bodenoberfläche fortgeschwemmt wird. In Zeiten der Trockenheit tun Sonne und Wind das ihre, um die Bodenkrume in Staub zu verwandeln und abzutragen. Ueber diese Wirkungen der Vernichtung der ursprünglichen Vegetation sind wir gut orientiert; eine umfangreiche Literatur ist ihr gewidmet, und zahlreiche Versuchsstationen beschäftigen sich mit ihrer Bekämpfung, wie besonders aus der ausgezeichneten und erschöpfenden Darstellung von BENNETT (1) entnommen werden kann.

Die *hier* zu behandelnde Bodenverschlechterung hat mit der oberflächlichen Erosion wenig zu tun; sie tritt auch da auf, wo eine Abtragung der Oberfläche nicht oder wenig in Frage kommt. Wie wir im weiteren sehen werden, handelt es sich vornehmlich um eine *innere Auslaugung der Böden*, die ihnen ihre Nährkraft entzieht, auch wenn die Oberfläche keine Zeichen von äußerlicher Veränderung aufweist.

Die innere Auslaugung ist in den feucht-warmen Gebieten die wichtigere Erscheinung; aber infolge der leichteren Beobachtbarkeit und der ausgezeichneten Bearbeitung, welche die Oberflächenerosion erfahren hat, tritt sie im allgemeinen in den Darstellungen botanisch-ökologischer und landwirtschaftlicher Natur völlig in den Hintergrund. Natürlich ist der Bodenkunde der Erscheinungskomplex bekannt: wir werden im folgenden noch auf die ausgezeichneten Darstellungen, die wir bei MOHR (14), MATTSON (12), VAGELER (28) u. a. finden, zurückkommen. Aber von den Bodenkundlern kann nicht erwartet werden, daß sie dem Einfluß völlig gerecht werden, welchen die Vegetation bei der Hervorrufung und bei der Hintanhaltung der Bodenauslaugung ausübt, und daß sie die vielfache Rolle, welche namentlich der Wald in dieser Hinsicht spielt, gänzlich erfassen. Deshalb sei im folgenden versucht, den Fragenkomplex *von der botanischen Seite* aufzurollen.

1. Die Tatsachen.

Wir schildern im folgenden die Erscheinung an den uns in Brasilien bekannten Tatsachen. Um den Sachverhalt näher zu beleuchten, verweisen wir zunächst auf die Figur 3, welche die Landschaft an den Wasserfällen des Rio Iguassú (an seiner Mündung in den Paraná, vgl. Kärtchen Fig. 2) wiedergibt. Das Bild läßt gut die außerordentliche Ausdehnung der Wälder erkennen, die nicht etwa nur die Flüsse selbst als Galeriewald begleiten, sondern in lückenloser Geschlossenheit sich weit im Horizonte verlieren. Die abgebildeten Wasserfälle liegen schon etwas jenseits des Tropengürtels, zwischen 25° und 26° südlicher Breite; aber Wälder der gleichen Natur durchziehen die ganze, noch nicht von der Wirtschaft aufgeschlossene Gegend im Norden des Staates Paraná und weiter nach Nordosten, auch im schon dichter besiedelten Staat S. Paulo. Das gleiche Bild erhält der Flugzeugreisende an den Wasserfällen des Rio Tieté, im Nordwesten von S. Paulo, zwischen dem 21. und 22. Breitengrade (mit 2 auf der Karten-skizze Fig. 2 bezeichnet).

Die botanische Erforschung ist noch nicht imstande, eine einigermaßen zuverlässige Aufstellung der wichtigsten Baumarten zu

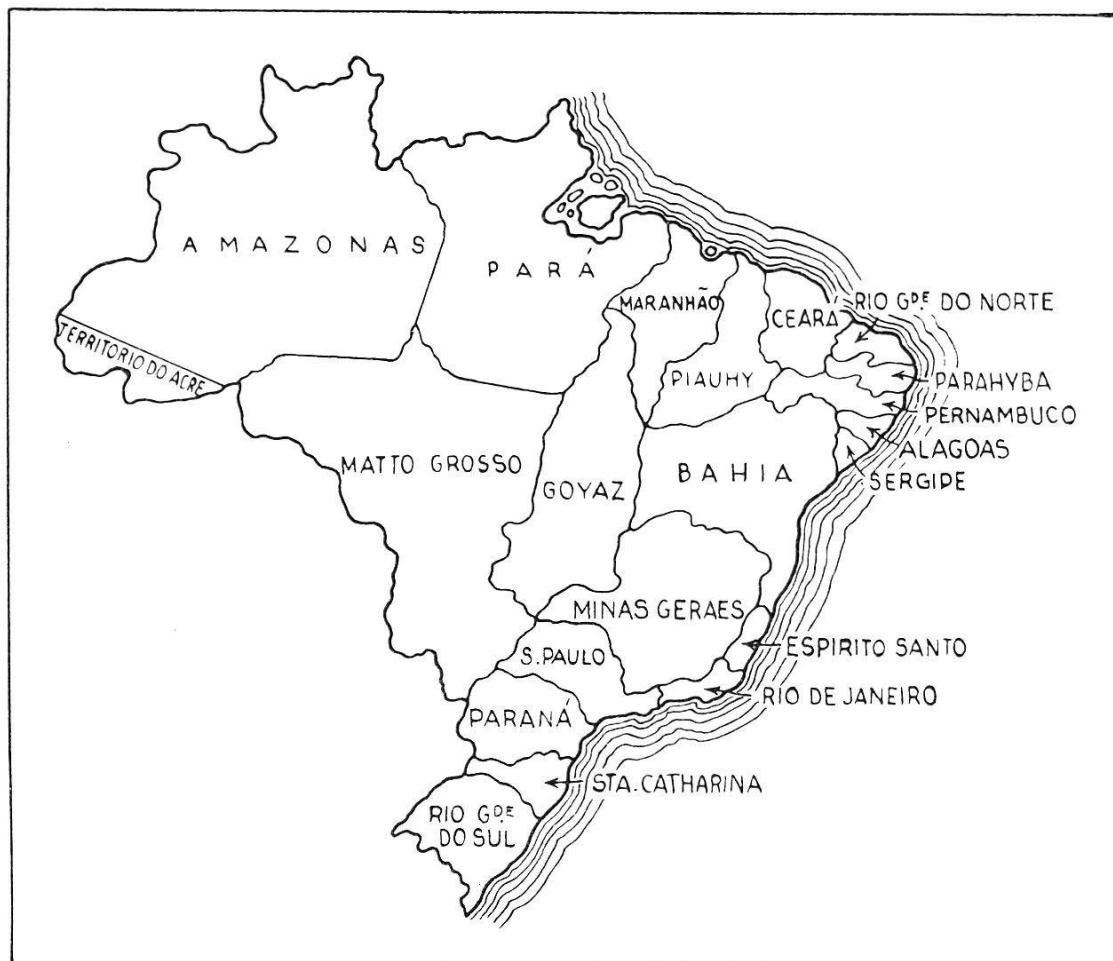


Abb. 1. Kartenskizze von Brasilien.

geben, die diese Wälder zusammensetzen; wichtige Nutzhölzer, wie *Aspidosperma* (Peroba), *Cedrela* (Cedro), *Balfourodendron* (Pau Marfim), scheinen durchweg vertreten zu sein, und ebenso werden die als Anzeiger guten Bodens bekannten *Gallesia* (Pau d'Alho), *Ficus Doliaria* (Figueira branca), *Moldenhauera* (Guaracai) und andere immer da genannt, wo der Siedler besonders guten Boden erwartet.

Natürlich werden sich bei genauerer Untersuchung verschiedene Assoziationsgruppen unterscheiden lassen; aber bislang ist es nur möglich, im Süden des Gebietes, in den höheren Lagen, eine Assoziationsgruppe der leichteren und weniger guten Böden zu unterscheiden, die besonders auf Sandstein zu finden ist. Es ist die Gesellschaft der *Araucaria brasiliiana*, die, mit verschiedenen Laub- und Nadelhölzern (*Podocarpus*) vereinigt, eine besonders interessante Gemeinschaft bildet, auf die der Verfasser bei anderer Gelegenheit einzugehen hofft.

Auf guten, frischen und tiefgründigen Böden fehlt diese Formation meist; der hier vertretene dichte Laubwald bietet alle Anzeichen der Feuchtigkeit. Schon vom Flugzeug sieht man, daß



Abb. 2. Südstaaten von Brasilien. 1. Mündung des Iguassú. 2. Mündung des Tietê. 3. Emas. 4. Lagôa Santa.

sich der Wald nicht nur in gleicher Lückenlosigkeit über Täler und Berge dahinzieht; auf den letzteren scheint er auch in gleicher Höhe und Dichtigkeit vorhanden zu sein wie auf den ersten, und ohne Unterbrechung zieht sich heute noch dieser dichte Waldmantel über größere Streifen des Inneren des Staates S. Paulo dahin. Wahrscheinlich nicht mehr lange, denn die ständig vor schreitende Kulturregion frißt immer tiefere Lücken in das noch vorhandene Waldgebiet, und in absehbarer Zeit wird nicht nur der Wald ganz geschwunden sein, sondern auch die Erinnerung an sein dereinstiges Bestehen. Angesichts des schließlich nur noch



Abb. 3. Waldlandschaft an den Iguassú-Fällen, Fliegeraufnahme. (Courtesy of Dr. J. L. Rich and the American Geographical Society.)

vorhandenen Oedlandes mit seinen sonnenausgedörrten Campos wird dann auch hier die wissenschaftliche Diskussion eröffnet werden, ob diese Landstriche aus klimatischen Gründen waldfrei sind und waldfrei bleiben müssen, oder nicht. Es ist daher nötig, heute schon auf den durchaus hygrophilen Charakter dieser Wälder hinzuweisen, in denen Baumfarne häufig vertreten sind und ein dichter epiphytischer Bewuchs von Orchideen und sehr zahlreichen Farnen — auch gelegentlich einigen Hymenophyllaceen — existiert sowie eine sehr große Anzahl von Lianen.

Die Existenz dieser Wälder ist besonders wichtig, weil sie die Darstellung des Vegetations- und Klimacharakters widerlegt, die heute in botanischen und klimatologischen Darstellungen Süd- und Mittelbrasiliens noch die Regel ist. Die Staaten Paraná, São Paulo und große Teile des nördlich und östlich anschließenden Staates Minas Geraes sind sicherlich nicht das ursprüngliche Savannenland, als das sie bei SCHIMPER (23), DE MARTONNE (11) und WETTSTEIN (30) erscheinen und auch von den Klimatologen gerne hingestellt werden.

Freilich ist dieser Irrtum, dem die Reisenden bei Betrachtung der heute vielfach sonnenausgedörrten Landoberfläche unterliegen, leicht verständlich, besonders wenn wir noch einige Klimadaten hinzuziehen, die für einen Besucher aus den gemäßigten Zonen die Trockenheit des Klimas belegen. Im Gegensatz zu den südlichsten Staaten Brasiliens, wo die Niederschläge regelmäßiger

verteilt sind — ganz im Süden deutet sich schon ein winterliches (mediterranes) Regenmaximum an —, besteht in den weiter nördlich gelegenen Gebieten während des Süd winters eine ausgesprochene Wintertrockenheit, mit vier bis fünf recht niederschlagsarmen Monaten.

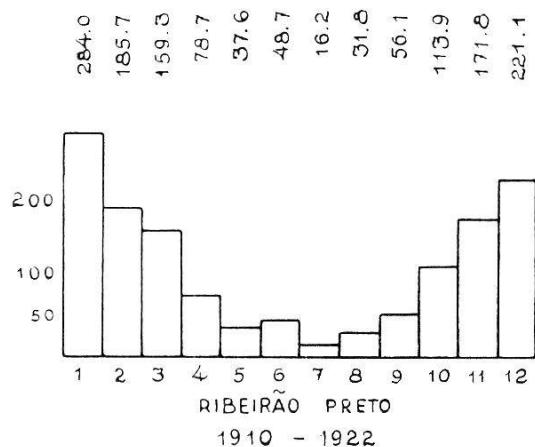


Abb. 4. Monatliche Verteilung der Regenmenge (mm) in Ribeirão Preto.

Vier Monate mit Niederschlägen unter 60 mm bedeuten schon eine recht erhebliche Trockenheit, auch wenn diese in die Wintermonate fällt. Denn diese erreichen Temperaturmaxima, die hinter denen des Sommers kaum zurückbleiben, nur die Nächte, in denen die Evaporation sowieso geringer ist, sind kälter, und allerdings auch länger. Dafür sind die Tage in der Trockenheit viel wolkenfreier, so daß in der Tat an die Wasserabgabe der Gewächse große Anforderungen gestellt werden.

Angesichts solcher langer Trockenheitsperioden unter tropischen Bedingungen wird ein aus gemäßigten Klimazonen kommender Beobachter von vornherein erwarten, klimatisch waldfreie Gebiete vorzufinden; die großen Wälder gerade im Innern des Kontinents, wo die Trockenzeit eher noch ausgesprochener ist, als sich durch unsere Daten für den ozeanischeren Teil des Gebietes belegen läßt, würden ihm ohne Zweifel unerklärlich erscheinen. Das Rätsel löst sich jedoch sehr einfach, wenn wir einmal wissen, wie große unsichtbare Wasservorräte während der Regenzeit in den tiefgründigen tropischen Böden angereichert werden können. In der Tiefe von 10 bis 20 m — so weit geht hier die Gesteinzersetzung — befindet sich ein reichliches Grundwasser, zu dem die Regenüberschüsse des Sommers abfließen; von hier schöpfen die Wälder ihr Transpirationswasser während der Trockenzeit.

Das Vorhandensein solch großer Wasservorräte — das wir im einzelnen noch genauer belegen werden — macht es, daß die Trockenzeit in botanisch-ökologischer Hinsicht eigentlich gar keine

richtige Trockenzeit ist, wenigstens da, wo Gewächse vorhanden sind, deren Wurzeln den unterirdischen Wasserreichtum zu erschließen vermögen.

Wie gewöhnlich in derartigen tropischen Waldgebieten geht auch in Brasilien die *Urbarmachung* mit Axt und Feuer vor sich. Nach Ende der Regenzeit werden die Bäume gefällt und die ganze geschlagene Waldmasse nun während der trockenen Monate der Austrocknung überlassen. Erst wenn diese weit genug fortgeschritten ist, wird das Feuer angelegt. Brennen der intakten Wälder, auch in der trockensten Periode, würde nicht zum Ziel führen, weil die Kronen der Bäume und das ganze Unterholz feucht bleiben, solange sie durch ihre Wurzeln mit dem immer feuchten Untergrund verbunden sind. (Aus diesem Grunde werden ausgedehnte Urwaldbrände, die vom Menschen nicht gewollt sind, in Süd-Brasilien selten beobachtet, wohl aber können solche Brände sich über größere Gebiete schon stark gelichteter Wald- oder besser gesagt Buschvegetation ausbreiten.)

Bei diesem Prozesse gehen große Mengen sehr wertvollen Holzes verloren; aber die Transportschwierigkeiten sind in diesen ja noch nicht kulturerschlossenen Gegenden in der Regel so hoch, daß ein Verkauf an die nächsterreichbaren Sägereien sich nicht bezahlt machen würde. Das wird gewiß hier wie in anderen tropischen Waldgebieten anders werden, wenn die Transportverhältnisse gebessert werden können.

In der auf diese Weise oft nur sehr unvollkommen gereinigten Rodung werden nun die ersten Pflanzungen angelegt; diese geben oft unwahrscheinlich hohe Erträge, die während der ersten Jahre jede menschliche Nachhilfe durch Düngung überflüssig machen. Die Leichtigkeit, mit der in diesen Zonen große Erträge erzielt werden können, wirkt sich auf die ganze Wirtschaftslage von Ländern mit solchen Pionierzonen aus. Denn in den schon weniger fruchtbaren Landesteilen, wo durch geeignete Maßnahmen der Boden vielleicht verbessert oder wenigstens im gleichen Stande gehalten werden könnte, unterbleiben solche, ja immer kostspieligen Methoden, weil sie die Konkurrenz mit den viel billiger liefernden Pionierzonen nicht aushalten können. Auch dies ist eine Erscheinung allgemeiner Natur, die bei der Erklärung der Verschlechterung der Böden in tropischen Gegenden nicht außer acht gelassen werden darf.

Um die Verarmung zu belegen, der die Böden unterliegen, führen wir einige Werte an (Tab. 1), die von der landwirtschaftlichen Versuchsstation des Staates S. Paulo in Campinas beobachtet worden sind.

Die Tabelle führt in Verhältniszahlen¹ den Gehalt der gleichen Böden an, in a) untersucht noch als Boden des Urwalds, in b) schon 22 Jahre nach Anbau von Kaffee. Es handelt sich um die ursprünglich fruchtbaren Erden des Gebietes (rotviolette Erde oder «Terra roxa»), auf deren Natur wir später noch zu sprechen kommen werden. Die in 22 Jahren eingetretene Verarmung, namentlich an Alkalien und Erdalkalien — Phosphor bleibt in unlöslicher Form im Boden erhalten, und Stickstoff reichert sich in tropischen Verhältnissen, wie es scheint, normalerweise an —, ist außerordentlich groß, und dabei ist zu bedenken, daß eine Kaffeeplantage bei den in Brasilien üblichen Kulturmethoden in 22 Jahren im allgemeinen noch nicht als unrentabel und unfruchtbar angesehen werden muß.

Tab. 1. *Terra roxa, a: mit Urwald, b: nach 22 Jahren Kaffeeekultur.*

a: mit Urwald.

Bodentiefe cm	Humus ton. p. ha	N	P	Na	K	Mg	Ca	Säuregrad pH
0—30	172	669,8	249,5	61,5	39,3	144,0	586,5	7,0
30—60	48	175,5	160,9	60,3	54,3	145,8	525,9	7,0
60—90	16	85,6	178,6	60,0	57,0	138,0	555,0	6,4
90—120	16	64,2	196,4	70,2	73,5	167,1	582,0	6,4
Total	252	995,1	785,4	252,0	224,1	594,9	2249,4	

b: nach 22 Jahren Kaffeeekultur.

0—30	42	184,0	116,5	13,5	5,1	26,4	99,3	5,4
30—60	48	128,4	126,7	8,1	4,5	22,5	123,0	5,7
60—90	36	111,3	126,7	10,0	3,3	19,8	138,0	5,8
90—120	27	74,9	126,7	10,5	3,6	25,5	88,5	5,9
Total	153	498,6	496,6	42,1	16,5	94,2	447,8	

Wie nach einigen weiteren Jahrzehnten eine solche Kaffee-fazenda aussehen kann, ersehen wir aus einer anderen Beobach-tungsreihe wiederum von der Versuchsstation Campinas, die sich auf Böden von Ribeirão Preto (s. Fig. 2) bezieht, und über die neuerlich SETZER (25) berichtet hat. Die besagte Fazenda war vor 60—65 Jahren auf bestem Urwaldboden vom Typ der Terra roxa angelegt worden. «Der Wald enthielt die ganze Liste von Pflanzen, die die besten Böden anzeigen. Viele der Bäume hatten einen Durchmesser von über 2 m und erreichten die größte (hier) bekannte Höhe. Wahrscheinlich gehörte der Wald zu den üppig-sten des Staates. . . . Innerhalb von 5 Jahren war ungefähr die Hälfte des Bestandes geschlagen, und der Boden zum größten Teile mit Kaffee bepflanzt worden. . . . Die Erträge der Plan-

¹ Kilo-Aequivalent auf 30 cm tiefe Bodenschichten berechnet.

tage gehörten zu den besten, die man kennt. . . . Nach etwa 60 Jahren indessen zeigte sie sich recht unergiebig. Nur 20% der Bäume waren $2\frac{1}{2}$ —3 m hoch und von gutem Ertrag; 30% waren als unrentabel ausgemerzt, der Rest bestand aus schwach entwickelten bis mäßig rentierenden Bäumen» (l. c. p. 9—10).

Die Versuchsreihe bestand darin, daß der Boden von dem alten Bestand befreit und eine neue Kaffeepflanzung darauf angelegt wurde, deren einzelne Teilversuchsflächen in der verschiedensten Weise gedüngt wurden. Die mineralische Düngung bestand aus Ammoniumsulfat, Chilesalpeter, Superphosphat oder weniger leicht löslichen Phosphaten, die in den verschiedenartigsten Dosen und Kombinationen angeboten wurden. Hier, wie in den ganz ungedüngten Parzellen, entwickelten sich die Pflanzungen ganz kläglich, und schon nach 4 Jahren waren viele der Bäumchen ganz ausgefallen. Nur, wo auch Kali gegeben worden war, waren die Resultate deutlich besser; aber die Pflanzung war auch hier ganz offensichtlich unrentabel, und zwar wiederum bei jeder Kombination der Düngung.

Unvergleichlich besser waren die Ergebnisse auf den Parzellen mit organischer Düngung, wie Stallmist, Gründüngung oder Palha de Café (Rückstände aus den Kaffeefrüchten). Aber auch diese Pflanzungen erreichten bei weitem nicht die Beträge einer auf frischem Urwaldboden angelegten Fazenda.

Während also auf Urwaldboden die Erträge ohne jede Düngung ausgezeichnet sind, wächst auf den gleichen Böden nach 60 Jahren vielfach überhaupt nichts mehr, mineralische Düngung ist unwirksam, und auch organische Düngung kann die alte Fruchtbarkeit durchaus nicht wieder herstellen²!

Wir haben hier die wissenschaftliche Bestätigung der allgemeinen Erfahrung, die der landwirtschaftlichen Besiedlungsgeschichte nicht nur großer Teile Süd- und Mittelbrasiliens, sondern auch vieler anderer Gebiete der feuchteren Tropen zugrunde liegt. Ihre Erklärung und die Ergreifung geeigneter Gegenmaßregeln bildet eine der wichtigsten Aufgaben der tropischen Land- und Volkswirtschaft und wird auch für viele Fragen der Bevölkerungspolitik auf der ganzen Erde heute von der größten Bedeutung sein. Die Bevölkerungsdichte, die wir irgendeinem Lande zumuten dürfen, wird immer in hohem Grade von seiner landwirtschaftlichen Produktivität abhängen.

² Eine besonders interessante Parallelie bietet die Tabakkultur in Sumatra. Die besten Kulturen gedeihen auf Urwaldrodungen, die nur ein Jahr bepflanzt und dann auf 5—10 Jahre dem Urwald zurückgegeben werden; nur so bewahrt der Boden seinen Reichtum. (Mohr, l. c., p. 474.)

2. *Die Erklärung.*

Die erste Frage, die sich uns unmittelbar aufdrängt, ist die nach der Rolle des Waldes. Woher kommt seine Befähigung, die Erde fruchtbar zu machen oder zu erhalten, und warum schwindet die Fruchtbarkeit so schnell nach seiner Beseitigung?

Daß die oberflächliche Bodenerosion, die sofort nach dem Fällen des Waldes auftreten könnte, hier nicht in Frage kommt, haben wir oben schon berührt. Die Böden erschöpfen sich in gleicher Weise, wo kein wesentlicher «Runoff» beobachtet werden kann, wie das in den geschilderten Beispielen (Tab. 1) der Fall war, und wo jedenfalls keine nennenswerten Teile der oberen Bodenkrume fortgeführt wurden. Die Analysen aber zeigen Verschwinden der Nährsalze auch in den tieferen Bodenschichten; es handelt sich also ohne Zweifel um eine innere Auslaugung. Dies wird auch von bodenkundlicher Seite vielfach erwähnt (8, 12, 14).

Sehr nahe liegt es natürlich, an die Bedeutung des Waldhumus zu denken, dessen Gehalt im Boden ja sehr schnell nach Entfernung des Waldes abnimmt, und in der Tat ist diese Erklärung am häufigsten herangezogen worden. Sicher ist sie zum Teil zutreffend, und in der Tat kann man durch Zufuhr organischer Substanzen dem Boden einen Teil seiner Kraft wieder zurückgeben; aber immer doch nur einen Teil, und es ist wohl noch kaum je gelungen, durch irgendwelche Maßnahmen die ursprüngliche Fruchtbarkeit frisch gerodeten Urwaldbodens wieder herzustellen. Es werden also noch andere Ursachen mit im Spiel sein, und wir müssen versuchen, die Vorgänge im Boden und die Gegenwirkung des Waldes von mehreren Seiten zu erfassen, wenn wir zur Aufklärung unseres Problems gelangen sollen.

Da die Erscheinung auf tropisch-feuchte Böden beschränkt ist oder doch hier besondere Ausmaße annimmt, müssen die Besonderheiten, welche diese Böden auszeichnen, bei der Erklärung besonders beachtet werden.

a) *Die schwache adsorptive Kraft tropischer Böden.*

Wie man aus den modernen bodenkundlichen Darstellungen ersiehen kann (8, 12, 14, 28) ist die schwache Adsorptionskraft tropischer Tonböden ein wichtiger Faktor in dem uns interessierenden Erscheinungskomplex. Heute wissen wir, daß die löslichen Salze im Boden nicht so sehr in gelöster, frei beweglicher Ionenform in der Bodenlösung vorhanden sind als vielmehr adsorbiert an den Grenzflächen der Bodenpartikel. Je kleiner dieselben sind, desto größer sind, im Verhältnis zu ihrem Volumen, die aktiven Grenzflächen, so daß den kleinsten, oder tonigen Bestandteilen,

die wir nach der ATTERBERGSchen Skala als unter 0,002 mm Durchmesser annehmen, die wichtigste Rolle zukommt. Von diesen werden also die Kationen oder Anionen der Bodensalze, wie besonders VAGELER hervorgehoben hat (27), mehr oder weniger festgehalten durch elektrische Kräfte, die an der Oberfläche der Kristallfragmente, aus denen die Erdpartikelchen größtenteils bestehen, wirksam sind. Da die Ionen nicht vollständig unbeweglich sind und oft mit relativ schwachen elektrischen Valenzen gebunden werden, so können die verschiedenen Ionen gleichen Vorzeichens einander an derselben Oberfläche vertreten und ablösen; die Ionen sind austauschbar.

Wie man sich im einzelnen solche Bindungs- und Austauschvorgänge vorstellen muß, sei durch das Schema Fig. 5 wiedergegeben, wo wir sehen, daß an der Bruchfläche eines Kristallfragments die durch die Fragmentierung des Kristalls freigesetzten Gittervalenzen auf beliebige Kationen der Bodenlösung wirken können.

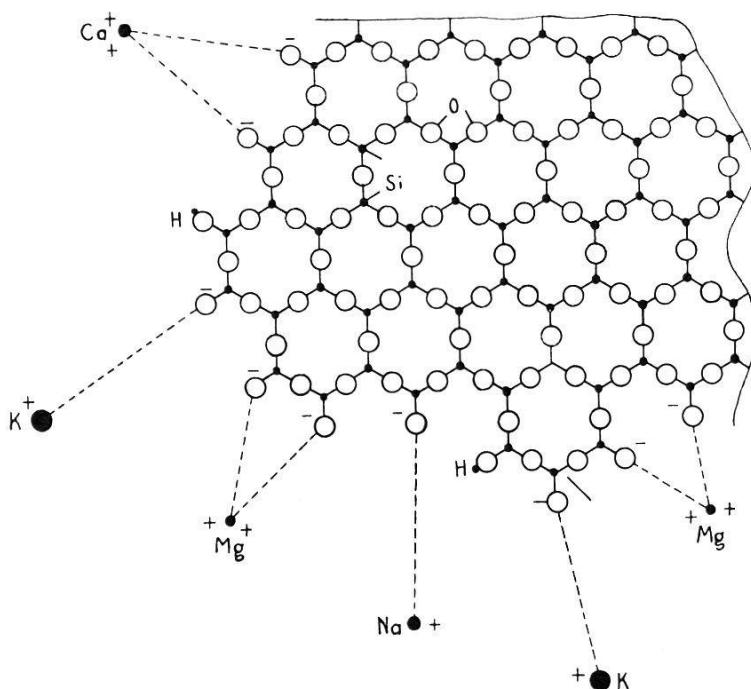
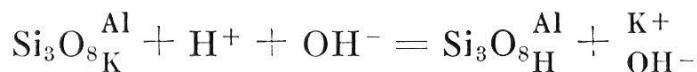


Abb. 5. Gitterrest eines verwitternden Silikats, mit austauschbaren, lose gebundenen Kationen (stark schematisiert), nach Endell (3).

Wir gehen hier nicht im einzelnen auf diese Tatsachen ein, über die jede moderne bodenkundliche Darstellung orientiert, bemerken jedoch hier schon, daß derartige Erscheinungen nicht auf Kristallfragmente beschränkt sind. Alle elektrisch geladenen Körper, amorphe Erdpartikel, Humusverbindungen wie Eiweißstoffe, ja auch die Oberflächen der Wurzelzellen entwickeln im Prinzip das gleiche Adsorptionsvermögen, wobei amphotere Elektrolyte Ionen positiver und negativer Ladungen festhalten können.

An den Oberflächen der Kristallfragmente werden auf diese Weise nicht nur fremde Ionen aus der Bodenlösung in mehr oder weniger fester Weise angelagert, es werden auch nach dem gleichen Schema die an der Oberfläche des Kristalls liegenden Ionen des eigenen Kristallgitters mehr oder weniger freigelegt und erliegen gleicherweise dem Ionenaustausch. Dieser Prozeß würde z. B. beim Kalifeldspat in der Weise verlaufen, daß in Gegenwart von Wasser, welches immer in geringer Menge die Ionen H^+ und OH^- enthält, das Kalium an der Kristalloberfläche in folgender Weise durch ein Wasserstoffion ersetzt werden kann:



Tatsächlich tritt dieser Prozeß in nachweisbarer Weise ein, wenn feingemahlener Kalifeldspat der Wirkung reinen Wassers ausgesetzt wird, und infolge der Entwicklung von K^+ - und OH^- -Ionen wird die Aufschwemmung alkalisch.

Nicht nur die elektrisch geladenen Ionen erliegen der elektrischen Anziehung der aktiven Grenzflächen, auch die an sich neutral erscheinenden Wassermoleküle müssen als elektrisch polariert vorgestellt werden, und so häufen sich auch diese an den Grenzflächen an und umgeben dieselben mit einer mehr oder weniger dichten Wasserhülle. Das den Grenzflächen unmittelbar anliegende «hygroskopische» Wasser ist als unbeweglich zu denken, die entfernteren Moleküle nähern sich immer mehr dem Zustand der freien Beweglichkeit, die sie erst da völlig erreichen, wo theoretisch gar keine einseitig gerichteten Potentiale auf sie einwirken. Hier, im Innern der kapillaren Bodenhohlräume, befindet sich dann das Wasser als «gravitatives» Wasser außerhalb des Bereiches der elektrischen oder «kapillaren» Anziehung der Grenzflächen und kann infolge des eigenen Gewichtes, der Schwerkraft folgend, in die Tiefe versickern.

Die adsorptiven Kräfte, welche die Erd- und besonders die Tonpartikel auf Ionen und Wasserhülle ausüben, sind nun je nach der chemischen Beschaffenheit der Tonsubstanzen verschieden. Diese selber sind durchaus nicht nur die letzten Reste von Gesteinsmaterial, welche bei der Zersetzung desselben übrigbleiben; vielmehr gehen in den Böden ständig Prozesse des Umbaus und der Neukristallisation vor sich, und die schließlich in den Tropen resultierenden Tone unterscheiden sich ihrer Natur nach von denen des gemäßigten Klimas. Während hier vor allem Tone vom Typ des Montmorillonites ($H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4 SiO_2$) gebildet werden, überwiegen in den feuchten Tropen die des Kaolins ($2H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). Die letzteren nun haben eine bedeutend schwächere Adsorptionskraft als die Tone der Montmorillonitgruppe.

Auch die Kieselsäure geht unter tropischen Verwitterungsbedingungen leichter in Lösung — daher der große Si-Gehalt tropischer Flüsse. Sie trennt sich von den Hydroxyden des Eisens und des Aluminiums, und diese letzteren sind es denn auch, die sich in den lateritartigen Erden unserer Gebiete besonders anreichern. (Vgl. MATTSON, l. c. 1932, Vol. 34, p. 209.)

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, auf die Ursachen einzugehen, die eine so verschiedene Entwicklung der Tonmaterialien hervorrufen, noch auf die, welche es bedingen, daß die Kaolinitgruppe ein schwächeres Adsorptionsvermögen besitzt. Obwohl von der Bodenkunde nicht vollständig aufgeklärt, steht jedenfalls die Tatsache fest, daß die Auswaschung tropischer Böden weniger Widerstand findet als die des gemäßigten Klimas.

b) *Die Tiefe der Gesteinszersetzung.*

Die außerordentliche Tiefe, welche die Gesteinszersetzung und somit die Bodenbildung in den feuchten Tropen erreicht, ist sonderbarerweise von der Oekologie wenig beachtet worden, obwohl sie von Klimatologie und Bodenkunde häufig erwähnt wird. So schreibt schon HANN: «Schon in den amerikanischen Südstaaten bemerkt man eine tiefgehende Zersetzung des Bodens. Während es im Norden schwierig ist, einen Boden zu finden, der einige Fuß tief ist, findet man im Süden in Nordkarolina, Alabama nicht selten in Eisenbahneinschnitten, Brunnen usw. bis zur Tiefe von 10 bis 15, ja selbst bis 20 m hinab zersetzes Gestein (Granit, Gneis, Hornblende, Glimmerschiefer usw.)» (l. c. Bd. 2, p. 20); und für Innernafrika äußert sich SCAETTA (21) folgendermaßen: «D'ailleurs plus le climat est humide et chaud (bande équatoriale), plus le sol est épais: épaisseur qui peut atteindre facilement 30—40 mètres» (l. c. p. 4).

Für ähnliche Böden in Indochina werden Mittelwerte von 15 bis 20 m, mit einem Maximum von 40 und einem Minimum von 1,5 bis 2 m angegeben (DE MARTONNE, 11). Auch bei HARASSOWITZ (8) erscheinen solche Werte als Regel für feucht-heiße Gebiete ³.

So kommt es, daß im Innern der von uns studierten Teile Brasiliens, überall da, wo nicht mit neuerlichen Gebirgsbildung zu rechnen ist, ein außerordentlich dicker Mantel einer sehr gleichmäßig und fein zersetzen Lehmerde — in den Sandsteingebieten vielfach sandigerer Böden — das unterliegende Gestein verdeckt. Wo die Landstraßen zwischen Hügel eingeschnitten sind, sind diese Böden oft 10—15 m tief aufgeschlossen, und namentlich die

³ Wegen der Erklärung der tiefgehenden Gesteinszersetzung siehe die zitierte Literatur (12, 17, 28).

Tiefe der Brunnen, welche auf den Hochflächen die menschlichen Ansiedelungen versorgen, klärt über diesen Sachverhalt auf.

Der sehr dicke Erdmantel dient als Wasserspeicher und nimmt die Ueberschüsse der Niederschläge der Regenzeit auf. Hier sinken diese in die Tiefe, bis sie sich auf der undurchlässigen Grundlage, gewöhnlich dem Muttergestein — Sandstein macht wegen seiner Durchlässigkeit eine Ausnahme —, als Grundwasserschicht ansammeln. Dieses Grundwasser wird allenthalben angetroffen und steht im gleichen Gelände, wo der Abfluß nicht groß ist, immer in ungefähr gleicher Höhe. Aus diesem Grundwasser werden Quellen und Bäche gespeist, die in den uns bekannten Teilen des Staates S. Paulo auch in den größten Trockenzeiten nicht aufhören zu fließen, aus ihm stammt das Trinkwasser der Ansiedlungen, und aus ihm nehmen die Pflanzen mit tieferen Wurzeln während der Trockenzeit ihr Transpirationswasser.

c) *Das unsichtbare Wasserreservoir.*

So entstehen sehr große unsichtbare Wasserreserven, die nicht nur für die hier behandelte Frage der Bodenentwicklung von großer Bedeutung sind, sondern die auch für das Verständnis der Lebensbedingungen sowohl der natürlichen Vegetation als auch der land- und forstwirtschaftlichen Kulturen von der allerhöchsten Wichtigkeit sein müssen. Da in unserem Gebiete so gut wie nichts hierüber bekannt war, wurden in den letzten Jahren in einer eigens hierfür errichteten kleinen Feldstation bei Emas (mit 3 auf der Karte Fig. 2 bezeichnet) mehrere Feststellungen getroffen, von denen das hier Interessierende kurz zusammengefaßt sei.

Die Station wurde im Gebiet der sogenannten «campos cerrados» angelegt, einer eigenartigen Formation, die in einer sehr gründlichen floristischen Bearbeitung von WARMING für Lagoa Santa (29) geschildert worden ist. Lagoa Santa liegt bereits im Staate Minas Geraes (s. Fig. 2), aber die Vegetation ist im wesentlichen gleich der von Emas. Ein sehr lockerer Buschwald von selten mehr als 5—8 m hohen, knorrig verbogenen, tief verzweigten Bäumen bildet die Baumschicht, dazwischen niedere Sträucher und ein Grasbestand (vorwiegend *Echinolaena inflexa*), der in der Regenzeit üppig grün und mit vielen schön blühenden Stauden durchsetzt erscheint, während er in der Trockenzeit vertrocknet und braun dasteht. Die Bäume und Sträucher dagegen behalten vielfach bis ins Frühjahr ihr Laub bei; viele von ihnen haben sehr große, nicht einmal lederige Blätter, ohne besonderen Transpirationsschutz; sie setzen, auch in der Trockenzeit, nicht einmal in den Mittagsstunden ihre Transpiration herab und lassen ihre Spal-

ten normalerweise weit offen. Kein Wunder, da ihre Wurzeln in die ständig feuchten Bodenschichten hineinreichen. Dies sieht aber der Beobachter nicht ohne weiteres der Vegetation an, und so rufen diese savannenartigen Fluren, deren Aeußeres an den «Orchard Bush» Afrikas gemahnen mag, im Reisenden das Bild großer Trockenheit hervor.

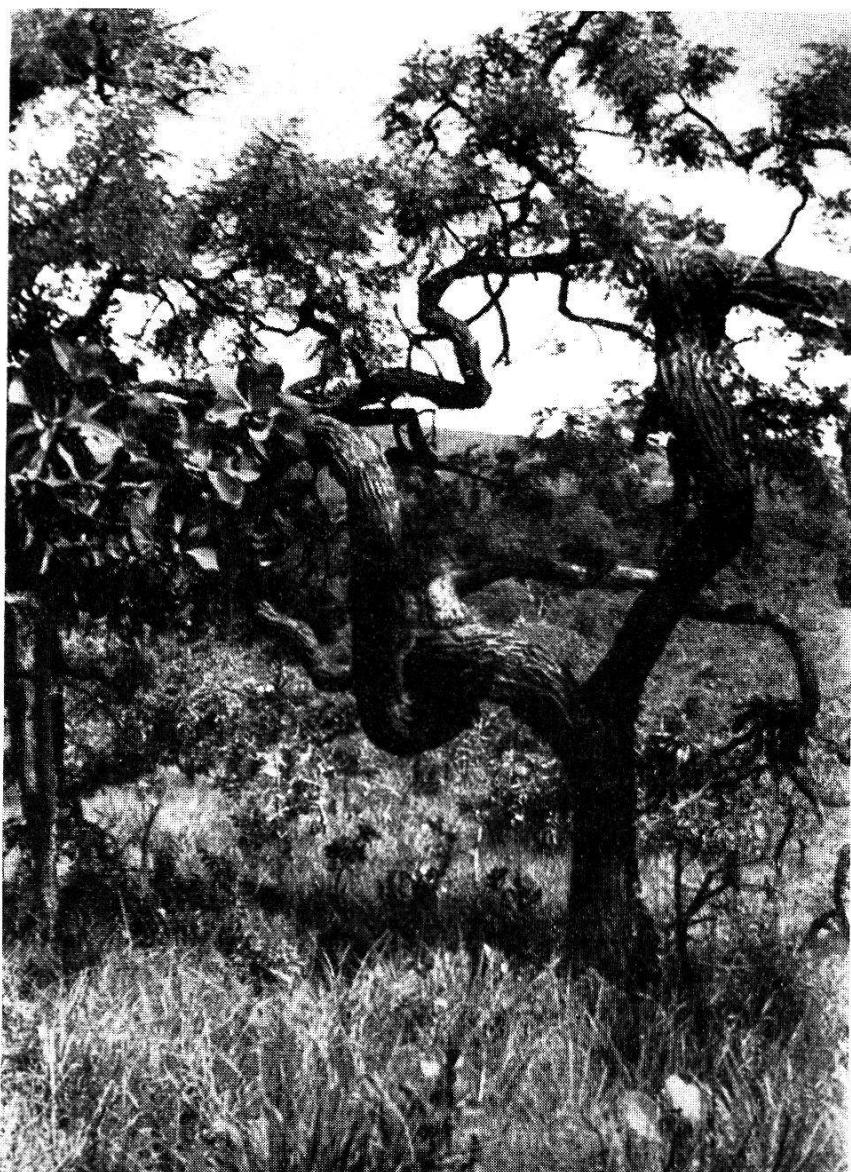


Abb. 6. Campo cerrado bei Lagôa Santa; im Vordergrund *Dalbergia violacea* und links, großblättrig, *Kielmeyera coriacea*.

In der Tat werden die campos cerrados in der Literatur von einem großen Teil der Beobachter für aus Gründen der Trockenheit waldfrei gehalten; das Für und Wider der Frage finden wir bei FRENGUELLI (6), SCHMIEDER (24) und FERRI (4) diskutiert, die Entscheidung kann aber nur durch Untersuchung des der Vegetation zur Verfügung stehenden Wassers getroffen werden.

Unsere Untersuchungen (5, 17, 18) haben sich daher nicht nur auf die Zusammensetzung der Vegetation und die Transpirationsgröße der Blätter beschränkt, wir haben auch versucht, uns über die Wasserführung der Böden und die Wurzeltiefe Rechenschaft zu geben. Zu diesem Zweck wurden zu wiederholten Malen Brunnenbohrungen bis zur Grundwassertiefe durchgeführt, immer an den höchsten Stellen des welligen Landes, wo ein Zufluß von Grundwasser aus höher gelegenen Gebieten also nicht mehr in Frage kommt. Diese Brunnen stehen unter ständiger Beobachtung. Das Grundwasser wurde in Emas bei 17—18 m Tiefe angetroffen, die durchbohrten Schichten bestanden aus recht gleichartig erscheinender feiner Lehmerde, ohne jede gröbere Beimischung von Grobsand oder gar Kies und Gesteinsbrocken, wie das hier die Regel ist. Die obersten 10 bis 12 Meter zeigten die übliche lebhaft rotgelbe Farbe lateritartiger Böden, in größerer Tiefe wich diese einem blassen Braungelb, und in der Nähe des Grundwasserspiegels, wo schon die ausspülende Wirkung desselben beginnen dürfte, wurden Sandschichten angetroffen. Hier begegnet man auch öfter festen, zusammengekitteten Schichten, denn es ist ja nicht anders zu erwarten, als daß die Substanzen, die an der einen Stelle weggeführt werden, an anderen sich zwischen den Bodenteilchen anreichern. Unsere Mittel erlaubten uns bisher nicht, eine eingehendere Bodenanalyse vorzunehmen; für unsere Zwecke kam es zunächst darauf an, die örtliche und jahreszeitliche Verteilung des Bodenwassers zu verfolgen.

Fig. 7 gibt uns die im Juli, also während der Trockenzeit vorgefundene Bodenfeuchtigkeit in Volumprozenten an. Die obersten 2 m enthalten wenig Wasser, während sie in der Regenzeit an Wassergehalt den tieferen Schichten kaum nachstehen. Von 2 m ab war der Boden sichtlich feucht, und als wir am Ende der besonders großen und langen Trockenperiode im September 1944 die Untersuchung an einer neuen Grabung wiederholten, kurz bevor die Frühjahrsregen einsetzten, fanden wir, daß die Trockenheit nur bis etwa 2,5 m eingedrungen war. Die ganzen ausdauern den Pflanzen halten ihre Wurzeln tiefer, fast alle gehen über 3 m, viele überschreiten noch 10 m. Eine interessante Papilionacee, *Andira humilis*, deren oberirdische Teile nicht, wie bei den andern Andiraarten, baumartig entwickelt sind und die nur die Fiederblätter und Blütenstände aus der Erde herausstreckt, erreichte mit ihren letzten Wurzeln noch das Grundwasser bei 18 m Tiefe.

Diese Tatsachen erwähnen wir hier nur kurz; sie sind wichtig, weil sie zeigen, daß es nicht der Wassermangel ist, der keine üppigere Vegetation aufkommen läßt, sondern daß wohl das regelmäßige Abbrennen die Ursache darstellt. Für unsere Betrach-

tungen hier gewinnen sie Bedeutung, wenn wir auf die möglichen Gegenmaßregeln gegen die Bodenverschlechterung zu sprechen kommen werden.

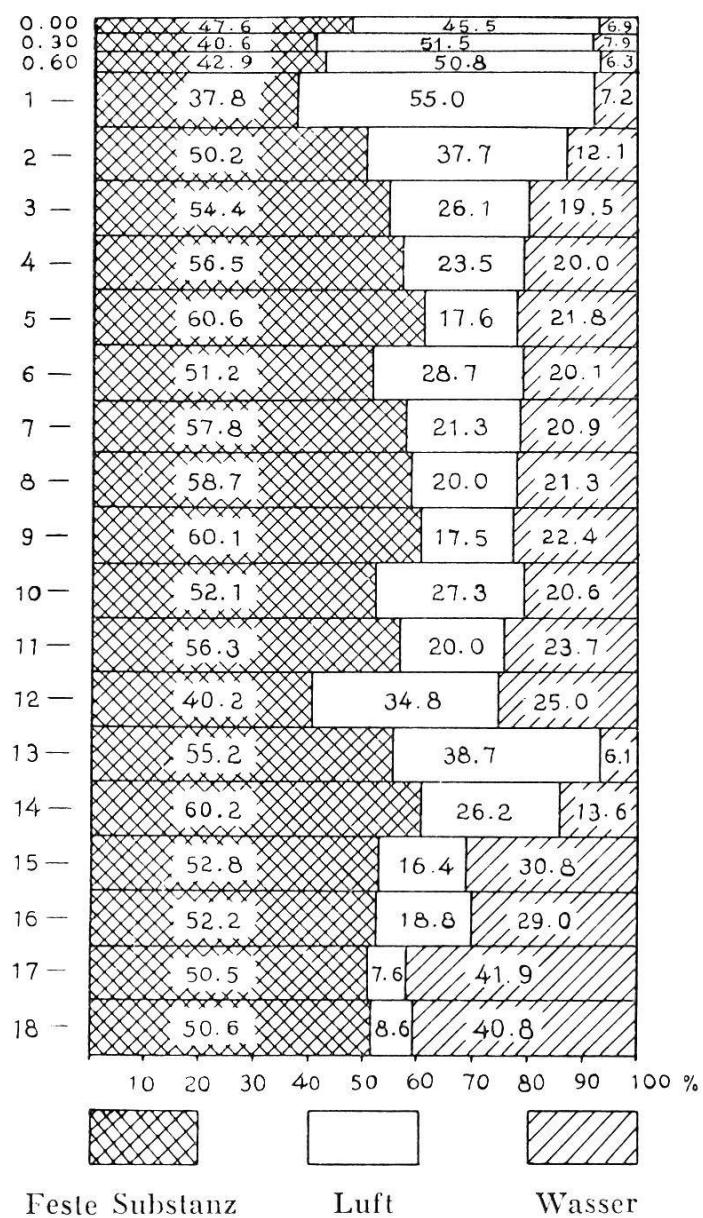


Abb. 7. Bodenprofil bis zur Tiefe des Grundwassers bei 18 m mit Angabe des Gehalts an fester Bodensubstanz, Luft und Wasser in Vol. %. — Höhepunkt der Trockenzeit (27. 7. 1942). — Emas (18).

Wichtig ist im gegenwärtigen Zusammenhang das Vorhandensein und die Bewegung so großer Wassermengen im Boden. Eine quantitative Abschätzung derselben war uns bisher nicht möglich, da wir die Tiefe der grundwasserhaltigen Bodenschichten nicht ermessen konnten. Wir wissen nur, daß die Wasserrinnenale, die von diesem Grundwasser gespeist werden, und die in das etwa 40 m tiefer liegende Flusssystem des Rio Mogy Guassú abfließen, auch in der größten Trockenzeit nicht versiegen. Ein Brunnen, der

ebenfalls auf dem Kamm der Anhöhe liegt und die Eisenbahnstation von Emas versorgt, gab Tag für Tag eine Tonne Wasser ab für den Verbrauch der Bewohner, ohne jegliches Nachlassen.

Der Grundwasserstand bleibt dabei ziemlich unverändert, es findet also dauernd noch eine Wasserbewegung aus den darüberliegenden Erdschichten in das Grundwasser statt, die dessen Spiegel in gleicher Höhe hält. Berechnet man nun, wieviel Wasser vom obersten Quadratmeter Bodens bis zu dem untersten Quadratmeter direkt über dem Grundwasser enthalten ist, so kommt man zu dem Wert von 3771 l Wasser. Die Jahresniederschläge in Emas zu 1200 mm angenommen (in der Tat dürften sie etwas höher sein), würde ein Quadratmeter Oberfläche jährlich etwa 1200 l zugeführt bekommen; die darunterliegenden Erdschichten enthalten also etwa 3mal soviel Wasser gespeichert, als im Jahre niederfällt, und diese Menge stellt die Ueberschüsse dar, die aus mehreren Jahren in den Boden gelangt sind. (Wieviel von den Ueberschüssen jährlich direkt verdampft oder durch die Vegetation transpiriert wird und wieviel unterirdisch abfließt, können wir bisher noch nicht übersehen, oberirdisch fließt so gut wie nichts ab.) Ein Teil dieser Wassermasse findet sich in dauernder Abwärtsbewegung ins Grundwasser und von hier aus in die Flüsse; er nimmt einen großen Teil der austauschbaren Ionen mit sich, die wir dann im Flußwasser und in den Anschwemmungen der Flußebenen wiederfinden, und besonders in den fruchtbaren Niederungen, die heutzutage in wachsendem Maße der Reiskultur zugeführt werden.

Nach dem, was wir über die leichte und vollständige Auswaschung der tropischen Böden gehört haben, kann es keinem Zweifel unterliegen, daß so beträchtliche Wassermassen, die ständig durch die Erde nach abwärts wandern, außerordentlich viel Material mit sich führen müssen. Wichtig ist aber nicht nur die Wassermenge, sondern auch die Tiefe der in Frage kommenden Erdschichten, und *hierbei kommt nun die entscheidende Rolle zustande, welche die Vegetation gegenüber den ganzen Auswaschungsvorgängen spielt und spielen muß.*

d) *Der Einfluß der Vegetation auf die innere Bodenauswaschung.*

Die Niederschläge, welche den Erdboden erreichen, können entweder unmittelbar von diesem verdunsten⁴ oder, mittelbar, durch Tätigkeit der Pflanzenwurzeln und die Transpiration, wieder in

⁴ Oberflächlicher Runoff kann auf diesen mit natürlicher Vegetation bestandenen Flächen vernachlässigt werden, würde sich auch in den nächstgelegenen Mulden ansammeln.

die Atmosphäre zurückkehren. Der übrige Teil wird den Boden als hygrokopisches oder sonst durch Adsorptionskräfte festgehaltene Wasser sättigen, und was dann noch verbleibt, wird als gravitatives Wasser mehr oder weniger schnell in die Tiefe versickern (Literatur s. ROTMISTROFF, 20; VAGELER, 27; MEINZER, 13). Nur dieses ist der Träger der durch Auswaschung verlorengehenden Salze.

Wieviel gravitatives Wasser versickern kann, hängt von der Größe der Verdunstung aus dem Boden ab. Wenn wir bedenken, daß die direkte Bodenverdunstung nur einen relativ kleinen Teil des Wassers betrifft (denn nur aus den obersten 30 cm ist mit einer direkten Verdunstungsabgabe zu rechnen), erkennen wir die Rolle der pflanzlichen Verdunstung.

Die pflanzliche Transpiration ist viel größer und auch viel variabler, als in den meisten Kreisen der Nichtbotaniker, ja selbst der Botaniker, angenommen wird. Wir wissen heute, daß ein Blatt mit geöffneten Spalten bis über 60% der Dampfmenge verdunsten kann, die von einer freien Wasseroberfläche der gleichen Größe unter gleichen Bedingungen evaporiert wird. Das heißt nichts anderes, als daß die Krone eines Baumes, mit ihren mehrfachen Stockwerken von Laubflächen, die noch dazu einer lebhaften Ventilation ausgesetzt sind, unter günstigen Vegetationsbedingungen (wenn die Spaltöffnungen geöffnet bleiben können) mehr transpiriert als eine Wasseroberfläche vom gleichen Areal. Dies brauchte an sich keiner besonderen Erwähnung und läßt sich ja ohne weiteres durch die bekannte Tatsache belegen, daß man durch Bewaldung Sümpfe trockenlegen kann.

Indes wird auch in wissenschaftlichen Darstellungen diese Rolle des Waldes oft verkannt, weil andererseits der Wald eine günstige, regulierende und selbst wasserspeichernde Tätigkeit ausüben kann. Dies ist der Fall da, wo ohne die schützende Waldbedeckung der Boden seine wasseraufnehmende Fähigkeit verlieren würde, z. B. wenn der schutzlose Boden bis auf das Gestein abgetragen wird, wie es in großen Teilen des Mittelmeergebietes bekanntlich der Fall war. Dann fließen die Regenfälle oberflächlich ab, oft bis in das Meer, und der entblößte Boden hat keinen oder wenig Vorteil von dem Regen. Aehnlich werden die Verhältnisse auch da, wo sich die Bodenoberfläche ohne Schutz schnell verhärtet und die an der Oberfläche gebildeten oder freigelegten Krusten von Kalk oder Laterit den Regen oberflächlich ablaufen lassen.

In Gegenden mit einer dicken wasseraufnahmefähigen Erdschicht, wie in unserem Falle und wie in außerordentlich großen Tropengebieten, ist dies jedoch nicht der Fall, oder die oberflächliche Verkrustung des Bodens ist ein Endzustand, der nur selten und spät erreicht wird. Hier ist der Boden selber ein Wasserspeicher und übt die regulierende Rolle aus, die man sonst dem Walde zuschreibt. Wo kein nennenswerter oberflächlicher Wasserablauf vorhanden ist, wird daher die Transpiration des Waldes den Boden mehr austrocknen, als wo Wald fehlt, und zwar wird die Austrocknung mehr oder weni-

ger der Menge des Transpirationswassers proportional gehen. Dies betrifft im Walde die tieferen Bodenschichten; die Oberfläche bleibt im Waldesschatten natürlich feuchter als auf den sonnigen Campos.

Wir brauchen wohl nicht länger auseinanderzusetzen, daß, je üppiger die Vegetation entwickelt ist, desto größere Wassermengen dem Untergrund entführt werden. Es ist dies in ökologisch geschulten Kreisen bekannt; OTOTZKI (15) schildert für Südrussland sehr beträchtliche Niveauunterschiede des Grundwassers unter Wald und anschließender Steppe, wo diese Differenzen 10 m erreichen. Brasilien interessieren besonders die wichtigen, aber leider zu wenig beachteten Feststellungen von A. DE SILVEIRA (26) für Nord-Minas. Im Waldgebiet des Rio Doce pflegen während der Trockenzeit die Flüsse und Bäche zu vertrocknen. Wo der Wald bereits geschwunden ist, fließen sie ständig. Im allgemeinen beobachtet man Steigen des Grundwassers und größere Ergiebigkeit der Brunnen nach dem Fällen der Wälder, wofür sich viele Beispiele anführen lassen.

Wenn wir diesen Gedankengang weiter verfolgen, kommen wir zu interessanten Schlüssen, die das Begriffspaar: «humid» und «arid» betreffen, welche in der Klimatologie und Bodenkunde zur Charakterisierung bestimmter Klimagruppen gebraucht werden: «*Humid*», wo mehr Niederschläge fallen als verdunsten können und die Ueberschüsse infolgedessen abfließen, und «*arid*», wo mehr verdunsten könnte, als an Niederschlägen zugeführt wird, und wo von feuchteren Gebieten zufließende Wassermengen eindunsten. (In Gebieten mit ausgesprochener Regen- und Trockenzeit können jahreszeitlich humide und aride Bedingungen abwechseln.)

Diese Charakterisierung gilt, wie wir nun erkennen, nicht unabänderlich für irgendein Gebiet; ob ein Klima humid oder arid genannt werden muß, hängt durchaus nicht nur von der Niederschlagsmenge und einer bestimmten Evaporationsgröße ab, die ihrerseits eine Funktion der Mitteltemperaturen sein soll, Relationen, die man versucht durch die sogenannten «Regenfaktoren» auszudrücken. Mittels der Vegetation, die wir einem Lande zuerteilen, können wir eine Gegend unter Umständen vom «ariden» in den «humiden» Zustand überführen, und vice versa.

Dies ist besonders erkennbar, wo das bekannte System der *Trockenkultur* (*dryfarming*) angewendet wird. Wo die Regenüberschüsse nicht ausreichen, um jedes Jahr eine Ernte, z. B. an Weizen, zu garantieren, läßt man jedes zweite Jahr (oder längere Zeit) den Boden brach und frei von jeder Vegetation liegen. Da die direkte Evaporation der Bodenoberfläche, besonders wenn dieselbe gelockert gehalten wird, eine kaum nennenswerte Bodenverdunstung aufkommen läßt, sammeln sich in den Zeiten der Brache die überschüssigen Regenmengen im Boden an; der Klimatypus ist jetzt «humid». Im Jahre der Bebauung werden die Ueberschüsse verbraucht, mit Vegetation also wäre das Klima «arid».

In unserem Beispiel vom Rio Doce verbrauchen die Wälder in der Trockenzeit das ganze Ueberschüßwasser aus der Regenzeit, in der Trockenzeit hätten wir hier also ein «arides» Klima. Wo keine Wälder mehr vorhanden sind und die Bäche und Flüsse dauernd fließen, würde aber diesen Namen kaum verdienen.

Es hängt also von der Vegetation ab, ob eine größere oder geringere Menge des Ueberschüßwassers nach unten abfließt. Wo eine starke Absorption seitens der Wurzeln stattfindet, wird das versickernde Wasser, und mit ihm die ausgewaschenen Salze, auf seinem Wege abgefangen. Die Salze werden wieder nach oben, in die Kronen der Bäume geführt, und mit dem Fall von Blättern und Zweigen kehren sie zur Erde zurück, aber diesmal nach der Oberfläche. Das im Waldesschatten reiche Leben von Bodenfauna und Flora sorgt für schnelle Zersetzung und gründliche Durchmischung der Substanzen, und der Boden erhält neben der größeren Menge seiner Salze nun allerdings infolge der Bildung von Laubstreu und Humus auch die physikalischen Eigenschaften, die zur höchsten Fruchtbarkeit erforderlich sind.

Die Stärke der Wasserabsorption seitens der Wurzeln ist nun nicht nur wichtig, weil sie den abwärts fließenden Strom der Nährsalze ganz oder teilweise umkehrt. Die Tiefe der Wurzeln spielt noch eine weitere bedeutende Rolle. Baumwurzeln können in genügend durchlüfteten frischen Böden große Tiefen erreichen, 10 bis 15, ja selbst 20 m sind durchaus keine Seltenheit, und damit treten die Wurzeln in die Zone des noch wenig oder gar nicht zerstörten Muttergesteins ein. Aus diesem können sie zusätzliche Salzmengen aufnehmen. Wenn nun die Auswaschung auch immer einen Teil der Salze des Bodens entführt — und dies muß ja auch in Waldgebieten der Fall sein, die einen ständigen oder zeitweisen Wasserabfluß besitzen —, so werden die fortgeföhrten Salze also aus dem Muttergestein ersetzt, von diesem direkt bis in die Kronen der Bäume geführt und kommen nun mit dem Laubfall usw. an die Oberfläche des Bodens.

Auf diesem Wege ist die große Fruchtbarkeit zu verstehen, die z. B. die besten Böden Brasiliens vom Typ der «Terra roxa» aufweisen. Hier ist der geologische Untergrund durch Diabasdecken ausgezeichnet, eruptive Magmen, die zum Beginn der Juraperiode zu wiederholten Malein das Land überflossen, und die heute in mehreren Schichten zwischen die Sandsteine der Formation eingeschaltet sind (ähnliche Formationen in Südafrika und Indien). Wo die Baumwurzeln in die Nähe dieser bekanntlich höchst fruchtbaren Schichten reichen, können wir mit fruchtbarsten Böden rechnen; aber wenn der Kontakt nicht hergestellt werden kann, sind die Böden schwächer, und dann finden wir im natürlichen Zustand Wälder von anderem Typus, wie sie MAACK (10) für den Staat Paraná beschrieben hat, und wo dann die Araucaria-Genossenschaft die fruchtbaren, durch *Ficus Doliaria* (*Figueira branca*) gekennzeichneten Gesellschaften ersetzt.

Wenn der Wald geschlagen wird, hört dieser Kontakt zwischen Wurzeln und Gesteinsunterlage bald auf. Die Bäume versuchen zwar, aufs neue auszuschlagen, und wo dies nicht verhindert wird, wächst der Wald sehr schnell nach. In diesem Falle können die Wurzeln in der Tiefe wohl erhalten werden. Wo aber das Wiederaustreiben der Bäume verhindert wird, werden die tieferen Wurzeln sehr bald absterben. Wir verstehen nur die zunächst sonderbar erscheinende Tatsache, daß bei der S. 220 erwähnten Tabakkultur, wie auch bei den Eingeborenen-Methoden (Milpa, Kain-gin) so großer Wert auf die kurze Dauer der Unterbrechung des Waldwuchses gelegt wird.

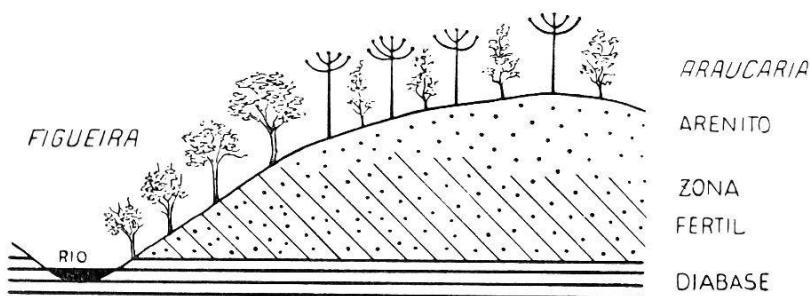


Abb. 8. Schematisches Bodenprofil in Hügellandschaft mit Terra roxa. Wo noch der Kontakt zwischen Baumwurzeln und der fruchtbaren Diabasschicht erhalten ist, bleibt der Boden gut (Figueira). Wo kein Kontakt vorhanden ist, findet sich magerer, saurer Boden mit Araucaria (17).

Wir haben hiermit die wesentlichsten Tatsachen aufgezeigt, welche die fruchtbarkeiterhaltende und -schaffende Tätigkeit des Waldes erklären. Natürlich ist dies alles nur ein ziemlich rohes Schema, das in der Natur durch vielfache andere Einflüsse abgewandelt werden kann. Schon in besonders fruchtbaren Teilen des Staates S. Paulo, z. B. in der Gegend von Limeira, liegen die Dinge da anders, wo der Diabas sehr nahe der Oberfläche liegt und auch von weniger tief wurzelnden Gewächsen ausgenutzt werden kann. Hier kann sich die Fruchtbarkeit länger halten; die Verhältnisse nähern sich denen des gemäßigten Klimas mit flachgründigen Böden.

In Niederländisch-Indien wird die Rolle des unterirdischen vulkanischen Magmas durch vulkanische Gesteine und Aschen ersetzt, welche die Oberfläche des fruchtbaren Landes bedecken (Literatur bei MOHR, 14).

Umgekehrt gibt es auch Bedingungen, wo die größte Aktivität des Waldes die Auswaschung der Böden nicht hintanhalten kann. Wo die Niederschlagsmengen ein gewisses Maß überschreiten, wie im Gebiet des Amazonas, findet auch unter den dichtesten tropischen Urwäldern eine sehr starke Auswaschung statt. Wir haben

an anderer Stelle (17) hervorgehoben, wie außerordentlich große Mengen an Salzen, besonders an Kali, jährlich vom Amazonas in den Ozean befördert werden.

Aber wir glauben, die Logik der vorstehenden Ausführungen ist zwingend genug, um zu zeigen, warum *im allgemeinen* im feucht-tropischen Gebiet der Wald der beste Fruchtbarkeitsfaktor sein muß. Jede Lichtung der Vegetation und auch nur teilweise Freilegung der Böden ruft — neben der Gefahr der Erosion — auch die Vergrößerung der inneren Auswaschung hervor. In Kaffee- und Obstbaumplantagen, besonders ohne den Schutz von Schattennäumen — in Brasilien wird auf diesen zumeist verzichtet —, wird diese schon sehr merkbar; aber besonders groß wird sie unter noch weniger tiefwurzelnden, und noch weniger transpirierenden Kulturen, namentlich wo einjährige Pflanzen gebaut werden, die während des Beginns ihrer Entwicklung weder gegen äußere noch innere Auswaschung nennenswerten Schutz bieten.

An dieser Stelle sei besonders daran erinnert, daß nicht nur die Niederschlagsmengen in den feuchten Tropengebieten an sich bedeutend höher sind als in gemäßigten Zonen, sondern daß ihre Verteilung auch prinzipiell verschieden ist. Die Frühlings- und Herbststagen, die im gemäßigten Klima die unbestellten oder kaum bewachsenen Felder treffen, sind außerordentlich sanft und nichts anderes als wohltätig. Die Frühjahrs- und Herbststagen in den Tropen aber setzen im allgemeinen mit derselben verheerenden Stärke ein, die in der beifolgenden Tabelle gut charakterisiert ist, und der wir weiter nichts hinzuzufügen haben.

Tab. 2. Vergleich der Regendauer in Deutschland und in Java nach Mohr (l. c., p. 126).

a: Durchschnittszahl der Regenstunden.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Potsdam	70.8	80.6	62.5	46.8	38.3	32.2	41.8	45.9	43.9	35.9	77.7	80.5	656.7
Batavia	74.6	51.2	35.8	24.5	21.6	12.9	9.6	7.4	11.6	20.4	39.7	47.8	357.1

b: Durchschnittliche Gesamtzahl von Regenstunden mit über 10 mm Regen.

Potsdam	—	—	—	—	0.7	0.7	0.3	0.1	0.2	—	—	—	2.0
Batavia	8.4	5.6	3.8	3.0	2.8	1.9	1.2	1.2	2.1	3.2	3.5	4.0	40.7

3. Gegenmaßregeln.

Die für die Bedingungen des gemäßigten Klimas geeigneten Kulturmethoden sind in tropisch-feuchten Zonen unangebracht und haben hier außerordentlich großen, oft nicht wiedergutzumachenden Schaden hervorgerufen.

Aus den vorstehenden Ausführungen geht ohne weiteres hervor, welches der prinzipielle Weg aller Schutzmaßnahmen sein muß: Begünstigung baumartiger Kulturen mit großen Transpirationsleistungen, mit tiefgehenden Wurzeln und mit möglichst dauerndem Schutz der Bodenoberfläche. Diese Tatsache war schon den alten eingeborenen Ackerbauern bekannt, die z. B. vor der Ankunft der Weißen in Mittelamerika ein als «Milpa» bezeichnetes System befolgten, das sich im wesentlichen offenbar nicht von den in Niederländisch-Indien gebräuchlichen Methoden (Lalang, Kain-gin) unterschied: Bepflanzung der frisch geschlagenen Urwaldrodungen nur während eines bis weniger Jahre, und dann Verlegung der Kulturen in neue Rodungen, unter Wiederbewaldlassen der verlassenen Kulturflächen. Dieses System kann durchaus nicht als primitiv mit wenigen Worten abgetan werden, setzt doch jede frische Rodung mit einfachen Werkzeugen eine große Arbeitsleistung voraus; es kann daher erst allmählich und infolge uralter Erfahrungen eingeführt worden sein.

Aber für unsere Zeiten mit den ständig anwachsenden Ansprüchen an den Boden als Ernährer immer dichterer Bevölkerungen ist es nicht mehr vereinbar. Indes ist es klar, daß bei der Wahl der Kulturpflanzen den baumartigen und tiefwurzelnden der Vorzug vor den niederen und flachwurzelnden Gewächsen gegeben werden muß, und den ausdauernden vor den einjährigen. Natürlich gilt dies nicht ohne Ausnahme: unter den einjährigen Körnerfrüchten stellt der Reis eine durchaus angebrachte Kulturpflanze dar, aber nur wo er auf Schwemmland der Flüsse und in den Niederungen mit hohem Grundwasserstand angebaut wird, auf die sich ja all das nicht bezieht, was auf den vorhergehenden Seiten dargelegt wurde. Weizen und Gerste dagegen sowie Baumwolle sollten für feuchte tropische Gebiete nur mit Vorsicht empfohlen werden. Abgesehen von der Auswaschungsgefahr sind sie selbst bei künstlicher Düngung oft auf die Dauer wenig rentabel (vgl. besonders BOERGERS Berichte [2] aus dem uruguayanischen Institut von Estanzuela), denn unter feucht-tropischen oder subtropischen Bedingungen wird auch diese leicht weggeschwemmt.

Weidegräser entwickeln selbst unter wenig dichtem Weidegang oft nur ungenügend tiefe Wurzeln. Die Gräser der S. 225 erwähnten Campos cerrados senden ihre Wurzeln etwa bis 1,50 m und vertrocknen in der Trockenzeit, wenn sie das ihnen zugängliche Bodenwasser erschöpft haben. Ihre Gegenwirkung gegen die innere Auswaschung muß natürlich gering sein. Zuckerrohr dagegen, mit seiner dichten ausdauernden Vegetation und seinen viel tiefer gehenden Wurzeln, leidet wenig unter der Trockenheit und schützt den Boden so sehr gegen Auswaschung, daß unter seinem

Schutz auch Düngerzugaben von größerem Nutzen sind. Wir gehen auf alle diese Fragen hier nicht näher ein, schon weil wir noch gar nicht über genügend Erfahrungen verfügen, die *unter den hier interessierenden* Gesichtspunkten gesammelt wären.

Wir erwähnen aber noch die Frage der *Gründüngung*. Gründüngung wird mit Recht für tropisch feuchte Gebiete empfohlen; sie schützt den Boden, reichert denselben an Humus an, aber vor allem kann sie auch eine Wurzeltätigkeit entfalten, die von höchstem Wert ist. Hier ist vor allem die Luzerne zu erwähnen (*Medicago sativa*), deren Wurzeln außerordentlich tief gehen können (bis über 20 m) und deren hoher Wert schon im Altertum erkannt wurde. Sie ist durch ihr tiefes Wurzelsystem der Trockenheit am besten gewachsen, wie z. B. aus den interessanten Erfahrungen von WHITE (31) vom Escalante Valley hervorgeht. Aber die Pflanze gilt auch als Fruchtbarkeitsbringer, und diese ihre Rolle wird uns nun leicht verständlich; es handelt sich dabei nicht so sehr um den Stickstoff, der ja im allgemeinen in unseren Böden reichlich vorhanden ist, als um Phosphor und Kali, die von ihr aus der Tiefe heraufbefördert werden.

Diese wichtige Futterpflanze bevorzugt allerdings neutrale Reaktion des Bodens, so daß sie auf den ausgewaschenen und sauren Böden des schon degradierten Landes zum Anbau weniger in Frage kommt. Welche Pflanzen hier in ähnlicher Weise nutzbar gemacht werden könnten, müssen besondere Untersuchungen erweisen.

Natürlich wird man bei der Wiederherstellung des schon entwerteten Landes zunächst an die *Wiederbewaldung* denken. Was die außerordentlich ausgedehnten Gebiete betrifft, die heute in Südbrasilien mit Campos cerrados bestanden sind, so geht aus unseren Untersuchungen (S. 225) hervor, daß eine Wiederbewaldung vielfach möglich sein muß. Diese wird heute in Brasilien fast ausnahmslos mit Anbau von Eukalyptus versucht, welcher tatsächlich den Verhältnissen hier heute noch am meisten entspricht, gibt Eukalyptus doch in 6—7 Jahren bereits einen reichen Ertrag an Brenn- und Stangenholz. Immerhin muß der Boden vor der Pflanzung vorbereitet werden, die Pflänzchen werden einzeln gepflanzt, und in den ersten Jahren müssen Nachpflanzungen vorgenommen werden. Dies alles verteuert die Kultur so sehr, daß sie nur in der Nähe der Verbrauchscentren oder von Eisenbahnen und guten Straßen rentiert.

An die Möglichkeit der natürlichen Wiederbewaldung hat man hier noch kaum gedacht, obwohl sie doch das naheliegendste wäre. Der magere und arme Wuchs der Campos cerrados — bei dem großen Reichtum an Bodenwasser — wird nur durch die jähr-

lichen Brände verursacht, die meist absichtlich angelegt werden, weil sie die der Weide dienenden Gräser begünstigen und ihr Austreiben im Frühjahr, wenn der Futtermangel am spürbarsten ist, beschleunigt. Aber dieses selbe Brennen verhindert die Entwicklung der perennierenden Gewächse und schwächt indirekt deren Wurzeln, so daß diese nur schwer die nötige immerfeuchte Tiefe erreichen können. Wird der Brand ausgeschlossen, so läßt sich zeigen (FERRI, 4, für Lagoa Santa), daß die Cerradobäume üppiger wachsen und dichtere Kronen bilden. Wenn erst einmal Schatten und Humus der Erdoberfläche zuteil werden, besteht die Möglichkeit, daß auch anspruchsvollere Waldpflanzen in das Gebiet zurückkehren. Bevor diese Bedingungen erfüllt sind, hat es natürlich wenig Sinn, auf den ausgedörrten Feldern den Anbau wertvoller Waldbäume zu versuchen. Solche Experimente werden gewöhnlich mißglücken, und irgendeinen Schluß auf die Unmöglichkeit ihres Anbaus in diesen Gebieten zu ziehen (was leider geschieht), ist natürlich abwegig.

Wir haben zuletzt nur von den uns besser bekannten Möglichkeiten der Gegenmaßregeln in Brasilien gesprochen, weil diese natürlich für jede Gegend andere sein werden, und weil sie in jedem Einzelfall besonders untersucht werden müssen. Ueberhaupt scheint es uns heute unmöglich, bereits irgendein sicheres Rezept anzugeben. Das einzige, was gesagt werden kann, ist, daß der ganze Erscheinungskomplex *einem sehr sorgfältigen Studium* unterworfen werden sollte, wobei die hier aufgezeigten Gesichtspunkte berücksichtigt werden müssen. In USA. hat man zur Bekämpfung der Oberflächen-Erosion im «Soil Conservation Service» eine Körperschaft geschaffen, deren Erfolge außerordentlich groß zu sein scheinen. Der inneren Auswaschung der tropisch-feuchten Böden wird man nur in ähnlicher Weise begegnen können, durch Zusammenarbeit der Behörden mit den sachverständigsten Forschern und Praktikern.

Ausblick.

Die im vorgehenden behandelte Bodenverschlechterung hat nicht nur ihre vererblichen Folgen für Landwirtschaft und finanzielle Wohlfahrt der betreffenden Länder. Heute läßt sich bereits eine andere höchst wichtige Erscheinung mit ihr in Verbindung bringen. Die Gesundheit und die Volkskraft in den meisten tropisch feuchten Gebieten ist so sehr der in gemäßigten Klimaten unterlegen, daß wir diese Tatsache fast als selbstverständlich ohne weitere Frage hinnehmen. Die Klimatologen sprechen von einem noch «unbekannten Klimafaktor», der es nötig macht, daß die aus

gemäßigt Klima kommenden Ausländer in regelmäßigen Intervallen nach dort zurückkehren, um ihre Gesundheit wieder herzustellen (9). Die Ursachen sind noch unbekannt, aber sie könnten mit den hier behandelten Dingen im Zusammenhang stehen. Denn immer mehr werden «Spurenelemente» bekannt, deren Fehlen bestimmte Pflanzen-, Tier- und Menschenkrankheiten hervorrufen. Noch stehen wir erst am Beginn der Erforschung dieser außerordentlich wichtigen Krankheitsursachen. Im Zusammenhang mit der großen inneren Auswaschung muß man natürlich daran denken, daß die Elemente, die hierfür in Frage kommen, aus den Böden der Tropen besonders leicht verschwinden. Diese Frage aber gehört bereits in das Gebiet der Tropenmedizin.

Wir haben im vorstehenden versucht, auf dem uns zur Verfügung stehenden Raum *das für unsere Frage Allerwesentlichste* herausgreifen. Wegen Einzelheiten verweisen wir auf die angeführte Literatur; die Belege für unsere Angaben finden sich in den Boletins 3 und 4 des Botan. Instituts der Universität São Paulo.

Résumé.

Après le déboisement de la forêt vierge, une détérioration rapide et intense du sol se déclare en conditions tropicales humides. Cette dégradation s'étend déjà sur des vastes espaces, ayant produit des dommages économiques et culturels incalculables.

Notre tâche la plus importante est de comprendre comment la forêt peut produire et maintenir une fertilité qui diminue bientôt après l'élimination des forêts.

Dans cette communication, l'attention est attirée sur l'activité des racines des arbres de la grande forêt. A part les qualités favorables, bien connues, de la forêt, qui consistent dans la protection contre l'érosion superficielle, dans la production d'humus, dans la conservation de l'humidité des couches supérieures du sol et dans la facilité qu'elle apporte au développement d'une riche microflore et faune, *la forêt s'oppose de la manière la plus efficace au lessivage des sols.*

Les causes essentielles de ce lavage, particulièrement poussé sous un climat chaud et humide, sont : 1^o la faculté minime d'adsorption des sols tropicaux par rapport aux sels ; 2^o la grande profondeur de la décomposition des roches, d'où résulte la formation d'une couche de sol de 15-20 m. et plus. Par suite, l'excès d'eau pendant la période des pluies peut pénétrer jusqu'à une grande profondeur, entraînant aussi les sels.

La grande consommation d'eau par la forêt diminue la quantité

de la solution drainée, interceptant les sels, qui retournent aux sommets des arbres et finalement achèvent le circuit, avec la chute des feuilles, à la surface du sol. Le fait le plus important est que les racines atteignent la roche mère, dans laquelle des ions nouveaux sont puisés, qui compenseront les pertes du lessivage. Ces sels, eux aussi, atteignent finalement la surface du sol.

Cette activité fertilisante de la forêt cesse quand le contact avec la roche est interrompu par le déboisement ; il ne sera jamais rétabli par l'introduction de plantes cultivées à racines peu profondes.

Si nous désirons combattre ce lessivage, il faut écarter les méthodes agricoles des pays tempérés. Nous devons reconnaître les dangers inhérents à la culture des plantes aux racines peu profondes, de courte durée et dont la culture entraîne l'existence de friches. La préférence doit être donnée à une végétation permanente, à une couverture dense de type forestier et à des plantes à racines profondes. — Ceci naturellement ne s'applique pas aux rizières sur les sols alluvionaux.

Finalement on attire l'attention sur le fait que le lavage peut affecter aussi quelques-uns des « trace-éléments » si importants pour préserver la santé des plantes, des animaux et de l'homme lui-même.

Summary.

Soil degradation, after the felling of the virgin forest, is rapid and intense in tropical humid conditions. This degradation has already befallen very large areas provoking immeasurable economic and cultural damages.

Our most important task is to understand, wherein consists the rôle of the forest in producing and maintaining a fertility, which soon diminishes when the forest disappears.

In this paper attention is drawn to the activity of tree-roots. Besides the already well known favorable influence of the forest, consisting in protection against erosion, production of humus, conservation of humidity in the top layers of the soil, and in the promotion of an active soil flora and fauna, *forests counteract most efficiently the lixiviation of the soil.*

Leaching in humid tropics is especially heavy as a consequence of 1) the small adsorption power of tropical clays so that the cations are easily washed out; 2) the great profundity of rock decomposition, that results in the formation of a soil mantle of 15-20 m. and more. Consequently the excess water of the rain period will percolate to a great depth.

The heavy consumption of water by forests diminishes the quantity of the downward draining solution, intercepting the salts, which return to the treetops and finally, with the decay, end on the ground, but this time in the upper layer of the soil. Of more importance is the fact that the roots reach down to the decomposing rocks, from where fresh ions are brought in solution, making up the losses of lixiviation. These salts too finally reach the surface of the soil. This fertilizing activity of the forest ceases, when the contact is interrupted by felling the trees; it never will be restablished by crop vegetation with shallow roots.

If we are willing to control lixiviation, we have to avoid the agricultural methods of the temperate climate; we must be conscious of the danger constituted by shallow rooted, short lived crop plants and by bare fallow. Preference must be given to permanent vegetation, especially to a dense cover of treelike, deep-rooted plants.—This, of course, does not refer to rice paddies in alluvial soils.

Finally attention is drawn to the fact that leaching may also affect some of the "trace elements", so very important for preserving the health of plants, animals and man himself.

Literatur.

1. *Bennett, H. H.* 1939. Soil conservation. New York.
2. *Boerger, A.* 1943. Investigaciones agronomicas. Montevideo.
3. *Endell, K.* 1937. Pesquisa radioscopica de argilas e sua importancia tecnico-economica. Bol. techn. n.^o 21 do Inst. Agronomico de Campinas.
4. *Ferri, M. G.* 1943. Observações sobre Lagoa Santa. *Ceres*, vol. 4, n.^o 21. Viçosa.
5. *Ferri, M. G.* 1944. Transpiração de plantas permanentes dos «cerrados». Bol. Fac. Fil. Cienc. e Letr., Botanica n.^o 4, 155. São Paulo.
6. *Frenguelli, J.* 1940. Fitogeografia argentina. Publ. Mus. La Plata, n.^o 2.
7. *Hann, J.* 1908—1911. Handbuch der Klimatologie. Stuttgart.
8. *Harrassowitz, H.* 1930. Böden der tropischen Regionen. in Blanck, E. Handb. Bodenlehre, III.
9. *Koeppen, W., und Geiger, R.* Handbuch der Klimatologie. Berlin, 1936.
10. *Maack, R.* 1941. Algumas observações a respeito da existencia e da extensão do arenito superior São Bento ou Caiuá no Estado do Paraná. — Arq. Mus. Paranaense, I, 109.
11. *Martonne, E. de.* 1932. Traité de Géographie physique. Vol. 3, 5^e éd. Paris.
12. *Mattson, S.* Seit 1929. The laws of soil colloidal behaviour. *Soil Sci.* 28, 179 ff.
13. *Meinzer, O. E.* 1942. Ground water. *Hydrology*, p. 385. New York and London.
14. *Mohr, E. C. Jul.* 1944. The soils of equatorial regions, with special reference to the Netherlands East Indies. Ann Arbor, Michigan.

15. *Ototzki, P. W.* 1899/1900. Ueber den Einfluß der Wälder auf das Untergrundwasser (Russ.). Zitiert nach Morosow, G. F., *Die Lehre vom Walde*, Neumann Neudamm, 1928.
16. *Rawitscher, F.* 1942. Algumas noções sobre a transpiração e o balanço d'agua de plantas brasileiras. *An. Acad. Bras. Ciencias*, 15, n.º 1.
17. *Rawitscher, F.* 1942/44. Problemas de Fitoecologia com considerações especiais sobre o Brasil meridional. *Bol. Fac. Fil. Cienc. Letr. Botanica*, n.º 3/4. São Paulo.
18. *Rawitscher, F., Ferri, M. G., e Rachid, M.* 1943. Profundidade dos solos e vegetação em campos cerrados do Brasil meridional. *An. Acad. Bras. Ciencias*, 15, 267. Rio de Janeiro.
19. *Rich, J. L.* 1942. *The face of South America*. New York.
20. *Rotmistroff, W. G.* 1926. *Das Wesen der Dürre*. Dresden.
21. *Scaetta, H.* 1940. Résultats pedo-agronomiques de la Mission Scaetta en Afrique Occidentale française. *Rev. Bot. Appl. e Agr. trop.*, 20, n.º 221, 1.
22. *Schimper, A. F. W.* 1898. *Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage*. Jena.
23. *Schimper, A. F. W.* 1935. *Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage*. 3. Ausgabe (F. C. v. Faber). Jena.
24. *Schmieder, O.* 1927. The pampa, a natural or culturally induced grassland? *Univ. Calif. Publ. Geography*, II, 8, 255. (Zit. Frenguelli.)
25. *Setzer, J.* 1944. O problema dos cafezais novos em terras roxas cansadas. *Bol. Curs. Aperfeiç. e Especial.*, n.º 3. Rio de Janeiro.
26. *Silveira, A. A. da*. 1925. Fontes, chuvas e florestas. Belo Horizonte.
27. *Vageler, P.* 1932. Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens.
28. *Vageler, P.* 1938. *Grundriß der tropischen und subtropischen Bodenkunde*. Berlin.
29. *Warming, E.* 1892. *Lagôa Santa*. Kopenhagen.
30. *Wettstein, R. R. v.* 1904. *Vegetationsbilder aus Südbrasilien*. Leipzig und Wien.
31. *White, W. N.* 1932. A method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation of the soil. *U.S. Survey, Water Supply Paper* 659 A.