

**Zeitschrift:** Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie  
**Band:** 33 (1953)  
**Heft:** 1  
  
**Artikel:** Tropische Verwitterung und Bodenbildung über Andesit und Diorit  
**Autor:** Schaufelberger, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-26450>

### **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:** 19.07.2025

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

# Tropische Verwitterung und Bodenbildung über Andesit und Diorit

Von *P. Schaufelberger* (Chinchiná)

Aus den Tropen liegen folgende Analysen von Verwitterungsprodukten und Böden vor, die sich über Andesiten, Dioriten und verwandten Gesteinen gebildet haben. Diese Bauschalanalysen wurden in Niggliwerte umgerechnet und die Auswaschungsfaktoren bestimmt, die den Quotienten der Niggliwerte des Bodens durch die entsprechenden des Muttergesteins entsprechen.

Tabelle 1. *Verwitterung und Bodenbildung über Andesiten und Dioriten.*

	si	al	fm	c	alk	
a) Boden	202	41	27	15	17	Chile
Diorit	180	22	34,5	20	23,5	BLANCK, RIESER und OLDERSHAUSEN
A. F.	1,15	1,85	0,78	0,75	0,72	
b) Boden	241	35	35	18	12	Chile
Porphyr	325	30	33	22	15	idem
A. F.	0,74	1,16	1,06	0,82	0,80	
c) Boden	248	59	34	2	5	Chile
Andesit	183	34	33	21	12	idem
A. F.	1,29	1,74	1,03	0,09	0,42	
d) Boden	241	34	30	11	25	Chile
Andesit	191	36	27	19	18	idem
A. F.	1,26	0,94	1,11	0,58	1,39	
e) Boden	240	42,5	41	3	13,5	Porto Rico
Andesit	262	44	31	14	11	GAZTAMBIDE
A. F.	0,91	0,92	1,32	0,21	1,23	
f) Boden	590	61	28	4,5	6,5	Porto Rico
Quarzdiorit	210	33,5	33,5	25,5	7,5	idem
A. F.	2,82	1,88	0,83	0,17	0,88	
g) Boden	470	63	31	0	6	Porto Rico
Quarzdiorit	194	42	36	16	6	idem
A. F.	2,42	1,50	0,86	0	1	

	si	al	fm	c	alk	
h) Laterit	41	61	36	0,5	2,5	Java
Andesit	142	30	34	24	12	MOHR
A. F.	0,29	2,03	1,06	0,02	0,21	
i) Laterit	116	54	43,5	1	1,5	Java
Andesit	262	29,5	35	24	11,5	BLANCK 1949
A. F.	0,44	1,84	1,25	0,04	0,13	
k) Laterit	92	44	41	7	7	Java
Andesit	146	29	36	23,5	11,5	idem
A. F.	0,63	1,52	1,14	0,30	0,61	
l) Laterit	109	56	43	0	1	Java
Andesit	206	29	35,5	24,5	11	NIGGLI 1951
A. F.	0,53	1,93	1,71	0	0,09	
m) Boden	194	39	26,5	14,5	20	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	Anal. A. OROZCO
A. F.	0,89	1,07	0,78	1,45	1,02	
n) Boden	246	26	26	20	28	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	1,19	0,71	0,76	2,00	1,43	
o) Boden	170	34	29	16	21	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	0,78	0,93	0,85	1,60	1,07	
p) Boden	197	33	29	15,5	22,5	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	0,91	0,90	0,85	1,55	1,15	
q) Boden	246	24,5	35	18,5	22	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	1,19	0,67	1,03	1,85	1,13	
r) Boden	201	39	18	14,5	28,5	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	0,93	1,07	0,53	1,45	1,46	
s) Boden	188	37	23	19,5	20,5	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	0,87	1,01	0,68	1,95	1,05	
t) Boden	222	32	27	20,5	20,5	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	1,02	0,88	0,70	2,05	1,05	
u) Boden	236	47,5	26	10,5	16	Kolumbien
Diorit	166	21	43	20	16	idem
A. F.	1,42	2,28	0,55	0,52	1	
v) Boden	268	30,5	52	8,5	9	Kolumbien
Monzonit	203	34	39,5	19,5	7	idem
A. F.	1,33	0,90	1,33	0,43	1,28	

Auf den ersten Blick scheint es sich um ein Chaos zu handeln und der Bodenkundler wird leicht zum Schluss kommen, dass die Niggliwerte sich für die Bodenkunde nicht eignen, während der Petrograph geneigt sein dürfte, die Genauigkeit der chemischen Analysen zu bezweifeln. Nun darf man aber nicht vergessen, dass die tropische Bodenkunde von den Geographen geschrieben wurde, lange bevor der erste Bodenkundler in die Tropen zog, sie erkannten das Auffällige, aber das ist leider nicht das Charakteristische. Sie klassifizierten die tropischen Böden in Roterde, Gelberde, Schwarzerde und Laterit. Auch beschreiben sie das tropische Klima als trocken, wechselfeucht und immerfeucht, während es in den Tropen nach der Regenmenge beurteilt wird.

LANG (1915), der die feuchten Tropen kannte, stellte seine Regenfaktoren auf und verlangte für jedes Klima einen andern Boden. Nun hatte er in den Tropen gesehen, dass die meisten Böden braune Farbe besitzen und sich im ariden Klima verschiedene Böden bilden und so stellte er folgendes Schema auf:

Regenfaktoren	Böden
über 160	Rohhumusböden
100—160	Schwarzerden
60—100	Braunerden
40— 60	Gelberden, Roterden und Laterit
unter 40	Böden des ariden Klimas

Auf kolumbianische Verhältnisse übertragen ergeben sich etwa folgende Beziehungen:

Regenfaktor	Regenmenge in cm	Klimabezeichnung	Zonale Böden
über 160	über 400	perhumid	Urwaldboden
100—160	250—400	humid	Waldboden
60—100	125—250	semihumid	Humusboden
40— 60	70—125	semiarid	Bambusboden
unter 40	unter 70	arid	Kaktusböden

LANG hat teilweise die Namen seiner zonalen Böden von den Geographen übernommen und deswegen ist sein System von manchen Bodenkundlern, wie z. B. MOHR (1944), abgelehnt worden, während die Pflanzengeographen die Regenfaktoren bekämpfen, weil sie die Vegetationen bei jährlichen Niederschlägen von mehr als 250 cm einfach ignorieren. Auch darf vielleicht darauf hingewiesen werden, dass RUSSEL (GLINKA 1914) schon 1899 erkannt hatte, dass die Farbe des Verwitterungsproduktes mit dem Alter in Zusammenhang zu bringen sei und tatsächlich findet man in allen Klimaten und über allen Gesteinen graue, gelbliche, gelbe, braune und rote Farben, so dass es zweckmässig ist, die Namen der Boden-

typen zu wechseln, damit man nicht in Versuchung kommt, den Bodentyp an der Farbe erkennen zu wollen.

Nun wollen wir einmal versuchen, die Analysen ähnlicher Regenfaktoren zu betrachten.

### ARIDES KLIMA

Die Böden Chiles stammen aus dem dortigen Trockengebiet und derjenige von Porto Rico hat sich bei einer Regenmenge von 62 cm im Jahr gebildet. Diese Böden zeigen folgende Auswaschungsfaktoren:

Tabelle 2. *Böden des ariden Klimas.*

	si	al	fm	c	alk	
a) Boden	202	41	27	15	17	Trockengebiet Chile
Andesit	180	22	34,5	20	23,5	
A. F.	1,15	1,85	0,78	0,75	0,72	
b) Boden	241	35	35	18	12	Trockengebiet Chile
Porphy	325	30	33	22	15	
A. F.	0,74	1,16	1,06	0,82	0,80	
c) Boden	248	59	34	2	5	Trockengebiet Chile
Andesit	183	34	33	21	12	
A. F.	1,29	1,74	1,03	0,09	0,42	
d) Boden	241	34	30	11	25	Trockengebiet Chile
Andesit	191	36	27	19	18	
A. F.	1,26	0,94	1,11	0,58	1,39	
e) Boden	240	42,5	41	3	13,5	Regenmenge 62 cm im Jahr
Andesit	262	44	31	14	11	
A. F.	0,91	0,92	1,32	0,21	1,23	

Die Böden a—c zeigen starke Basenverluste; in zwei Fällen wird die Kieselsäure im Boden angereichert und in einem Falle ausgewaschen. Die Bildung der Kaktusböden verläuft in zwei Etappen: 1. Anfänglich ist die Bodenreaktion basisch und dann ist die Kieselsäure als Ion oder als Alkalisilikat löslich; in Ebenen bilden sich dann Kieselsäure-Ortsteine in den Unterböden, 2. später wird die Reaktion sauer und die Erdalkalien werden abtransportiert, während die Kieselsäure im Boden nun angereichert wird. Saure Böden haben im ariden Klima u. a. folgende Autoren gefunden:

GRACIE (VAGELER 1935)	pH 4,27—5,23
VAGELER (1935)	pH 5,5
KNAUER (1937)	pH 5,59—6,04
JENNY (1948)	pH 5,3 —7,2
BURNOTTE (1949)	pH 5,4
Kolumbianische Kaktusböden	pH 4,2 —7,7

Nach der bodenkundlichen Literatur sollten sich im ariden Klima Alkali- oder Salzböden bilden, während die Kaktusböden ein starkes Auswaschen der Basen und teilweise sehr saure Reaktion zeigen. Offenbar sind in diesem Klima nicht alle Böden Illuvialhorizonte, wie vielfach angenommen wird. In einem Referat über MOHRS (1934) tropische Böden heisst es: „Nach der Wasserbewegung im Boden kommen folgende Unterschiede in Frage. Die Wasserbewegung kann hauptsächlich nach unten gerichtet sein, sie kann, wenn auf einen nassen Westmonsun ein deutlich trockener Ostmonsun folgt und der Grundwasserstand niedrig ist, praktisch zum Stillstand kommen. Ist der Grundwasserstand hoch, dass er durch Aufsteigen während der Trockenheit bis in die Verdampfungszone kommt, dann erhält man eine periodisch wechselnde Wasserbewegung. Der Fall, dass die Wasserbewegung nur nach oben gerichtet ist, kommt in Niederländisch-Indien nicht vor.“

Die Wasserbewegung im Boden wird offenbar nicht durch das Klima bedingt, sondern durch das geologische Substrat, so dass sich im ariden Klima neben den azonalen Alkali- und Salzböden auch endoperkolative Kaktusböden bilden können.

Bei den Böden d und e wird nur Ca verlagert, während die Alkalien in diesen angereichert werden. Genau dieselbe Erscheinung wiederholt sich auch in den andern Klimaten, wie nachfolgende Tabelle zeigt.

Tabelle 3. *Intrazonale Böden.*

	si	al	fm	c	alk	
a) Caliboden	91	16	32,5	45,5	6	Cypern
Kalkstein	16	2,5	15,5	81	1	REIFENBERG u. EWBANCK
A. F.	5,68	6,4	2,1	0,56	6	
b) Caliboden	125	32,5	49,5	15	3	Cypern
Gabbro	105	21	44,5	33,5	1	idem
A. F.	1,19	1,55	1,11	0,45	3	
c) Caliboden	251	25	39,5	21	14,5	Cypern
Chalkpan	156	8,5	17	74,5	Sp.	idem
A. F.	1,51	2,93	2,33	0,28	∞	
d) Caliboden	57	14	32	48,5	5,5	Cypern
Gestein	12	3	9	88	0	idem
A. F.	4,75	4,67	3,56	0,55	∞	
e) Caliboden	174	21,5	41	24,5	13	Chile
Gestein	36	1,5	17	78	3,5	BLANCK, RIESER und OLDERSHAUSEN
A. F.	4,84	14,36	2,41	0,32	3,7	

	si	al	fm	c	alk	
f) Caliboden	241	34	30	11	25	Chile
Andesit	191	36	27	19	18	idem
A. F.	1,26	0,94	1,11	0,58	1,39	
g) Quindíoboden	257	47	40	3	10	Siam
Kalkstein	5	0	14,5	85	0,5	BLANCK, CREDNER und OLDERSHAUSEN
A. F.	51,4	∞	2,76	0,03	20	
h) Quindíoboden	163	60,5	34,25	5	0,25	Java
Kalkstein	0,5	7	1	92	Sp.	BLANCK 1949
A. F.	326	8,64	34,25	0,05	∞	

Diese Böden haben alle ein basenreiches Muttergestein und offenbar bestimmt dieses den Chemismus, der in allen Klimaten einheitlich ist; Ca wird ausgewaschen und die Bodenkomplexe sind stark mit Basen abgesättigt. Sind die Böden rot, dann werden sie Terra rossa genannt, die sich in allen tropischen Klimaten bilden können, sogar auch als Regur, der amphiperkolativ ist, also azonale und intrazonale.

Wahrscheinlich beginnt jede Bodenbildung intrazonal und mit basischer Reaktion, aber je nach dem Basengehalt bildet sich früher oder später dann der zonale Bodentyp.

#### SEMIARIDES KLIMA

Leider steht hier keine Bodenbildung über Andesit oder Diorit zur Verfügung, aber bei zonalen Böden über andern Gesteinen werden die Alkalien ausgewaschen.

#### SEMIHUMIDES KLIMA

Bei Regenmengen um 250 cm im Jahre bilden sich nachstehende Humusböden.

Tabelle 4. Böden des semihumiden Klimas

	si	al	fm	c	alk	
m) Boden	194	39	26,5	14,5	20	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	Anal. A. OROZCO
A. F.	0,89	1,07	0,78	1,45	1,02	
n) Boden	246	26	26	20	28	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	1,19	0,71	0,76	2,00	1,43	
o) Boden	170	34	29	16	21	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	0,78	0,93	0,85	1,60	1,07	

	si	al	fm	c	alk	
p) Boden	197	33	29	15,5	22,5	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	0,91	0,90	0,85	1,55	1,15	
q) Boden	246	24,5	35	18,5	22	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	1,19	0,67	1,03	1,85	1,13	
r) Boden	201	39	18	14,5	28,5	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	0,93	1,07	0,53	1,45	1,46	
s) Boden	188	37	23	19,5	20,5	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	0,87	1,01	0,68	1,95	1,05	
t) Boden	222	32	27	20,5	20,5	Kolumbien
Andesit	217	36,5	34	10	19,5	idem
A. F.	1,02	0,88	0,70	2,05	1,05	

Diese kolumbianischen Humusböden haben sich an der Grenze semihumid-humid gebildet und es ist da auffallend, wie einheitlich die Basen angereichert werden; bei einigen Böden ist die Basenanreicherung absolut, dann wird der Auswaschungsfaktor für si kleiner als 1; ist sie nur relativ, dann ist dieser Faktor grösser als 1 und zeigt, dass absolut die Basen abnehmen. Die Basenanreicherung in endoperkolativen Braunerden ist schon GEERING (1936) aufgefallen und er schreibt über die Verlagerung von Calcium in Braunerden des humiden Klimas: „Calcium zeigt, wie erwartet, das Bild stärkster Auswaschung infolge der relativen Löslichkeit seines Hauptvorkommens in Karbonatform als Bikarbonat. Aus den in graphischer Darstellung bei einzelnen Profilen vorliegenden Verlustzahlen scheint jedoch hervorzugehen, dass die Auswaschung bei einer bestimmten Grenze Halt macht, resp. eine weitere Gehaltsverminderung nicht mehr herbeiführt. Im kalkigen Profil I ist nämlich der oberste Horizont weitaus am stärksten an CaO verarmt, d. h. die Intensität des Lösungsprozesses ist in der Oberkrume am höchsten. Bei allen bereits entkalkten resp. mindestens in den oberen Schichten karbonatfrei gewordenen Profilen trifft jedoch der maximale Kalkverlust einen tieferliegenden Horizont. Der nach oben wieder zunehmende Kalkgehalt muss zum grössten Teil als das Werk der „Kalkpumpe“-Vegetation betrachtet werden, die von einem gewissen Auswaschungszustande an ein bestimmtes Kalkgleichgewicht im Profil zu erhalten im Stande ist.“

Was hier über das Calcium gesagt worden ist, gilt natürlich auch für die übrigen Basen; der Boden ist gegenüber der Waldstreu ein Illuvialhorizont, die Basenzufuhr erfolgt von oben und nicht von unten durch

eine periodisch wechselnde Wasserbewegung, die auf Ebenen der trockenen Klimate beschränkt ist, während sich Humusböden auch an Hängen bilden, die gut drainiert sind.

### HUMIDES KLIMA

Aus dem humiden Klima stammen die Böden u und v; sie haben sich bei Regenfaktoren von 123 und 110 gebildet und sie zeigen folgende Auswaschungsfaktoren:

Tabelle 5. *Böden des humiden Klimas*

	si	al	fm	c	alk	
u) Boden	236	47,5	26	10,5	16	Regenfaktor 123
Diorit	166	21	43	20	16	Anal. A. Orozco
A. F.	1,42	2,28	0,55	0,52	1	
v) Boden	268	30,5	52	8,5	9	Regenfaktor 110
Monzonit	203	34	39,5	19,5	7	idem
A. F.	1,33	0,90	1,33	0,43	1,28	

Hier wird wie bei der Braunerde Ca verlagert, während die Alkalien angereichert werden; bei Boden u ist diese nicht besonders deutlich, entweder handelt es sich um einen jungen, noch nicht gereiften Boden oder um einen Übergang zum Humusboden des semihumiden Klimas. Die Waldböden zeigen denselben Auswaschungsfaktor wie die intrazonalen Böden, aber bei jenen werden die Basen nicht in den Umtauschkomplexen angereichert wie in diesen, so dass chemisch zwischen beiden Böden Unterschiede bestehen.

### PERHUMIDES KLIMA

Die Böden f und g von Porto Rico haben sich bei jährlichen Niederschlägen um 500 cm gebildet. Sie zeigen wiederum ein anderes chemisches Verhalten.

Tabelle 6. *Böden des perhumiden Klimas*

	si	al	fm	c	alk	
f) Boden	590	61	28	4,5	6,5	Regenmenge 500 cm
Quarzdiorit	210	33,5	33,5	25,5	7,5	
A. F.	2,82	1,88	0,83	0,17	0,88	
g) Boden	470	63	31	0	6	Regenmenge 500 cm
Quarzdiorit	194	42	36	16	6	
A. F.	2,42	1,50	0,86	0	1	

Beim Boden g ist Ca ganz ausgewaschen, während die Alkalien konstant geblieben sind. Um zu entscheiden, ob es sich um einen Waldboden oder einen intrazonalen Quipileboden handelt, der zum zonalen Urwaldboden degeneriert, sollte man die Menge der austauschbaren Basen kennen, die leider nicht bestimmt wurden. Der Boden f zeigt das Abwandern der Basen, wie wir es vom Podsol her kennen, bei dem sich die Sesquioxide im Unterboden anreichern. Glücklicherweise ist hier auch dieser analysiert, und das Profil zeigt folgende Zusammensetzung.

Tabelle 7. *Urwaldboden f*

	si	al	fm	c	alk
Boden	590	61	28	4,5	6,5
Unterboden	174	35	38	20	7
Quarzdiorit	210	33,5	33,5	25,5	7,5

Die Auslaugung geht ganz deutlich von oben nach unten; offenbar handelt es sich um einen jungen Boden, dessen Unterboden noch wenig ausgewaschen ist; bei alten Urwaldböden ist er sehr stark ausgewaschen und der Boden durch die Zufuhr von oben basenreicher. Das Aluminium scheint mehr im Boden, das Eisen mehr im Unterboden angereichert zu sein. Die Anreicherung der Sesquioxide im Unterboden kommt aber auch deutlich dadurch zum Ausdruck, dass der Kieselsäuregehalt im Boden infolge der Basenabfuhr am grössten und im Unterboden, infolge der Sesquioxidzufuhr von oben, am kleinsten ist. Berechnen wir die Niggliwerte des Unterbodens für den si-Wert 210 des Diorites, dann kommt die Anreicherung der Sesquioxide im Unterboden deutlicher zum Ausdruck:

Tabelle 8. *Urwaldboden f*

	si	al	fm	c	alk
Unterboden .1,21	210	42,5	46	24	8,5
Quarzdiorit	210	33,5	33,5	25,5	7,5
Differenz	0	+9	+12,5	-1,5	+1

Also auch im tropischen Boden des perhumiden Klimas haben wir, wie beim Podsol, eine Anreicherung der Sesquioxide im Unterboden.

Bei allen diesen reifen tropischen zonalen und intrazonalen Böden finden wir eine Anreicherung der Kieselsäure in den Böden, die Bodenbildung entspricht also einer siallitischen Verwitterung. Im Gegensatz dazu steht die allitische Verwitterung.

## LATERITBILDUNG

Aus Indonesien sind verschiedene Laterite auf Andesit beschrieben. Nun klagt zwar ein Kenner dieser Böden, dass er nicht wisse, ob es in Indonesien Laterit und Terra rossa gäbe, aber behauptet sei es leider oft geworden. Offenbar sind Terra rossa als rote intrazonale und Laterite als zonale Böden aufgefasst worden, weil man den Einfluss des Muttergesteins irgendwie erkannt hat. Immerhin sind zwei Laterite als Verwitterungskrusten beschrieben, so dass es sich um keine Böden handelt. Diese Laterite zeigen folgende Auswaschungsfaktoren.

Tabelle 9. *Lateritbildung*

	si	al	fm	c	alk
h) Laterit	41	61	36	0,5	2,5
Andesit	142	30	34	24	12
A. F.	0,29	2,03	1,06	0,02	0,21
i) Laterit	116	54	43,5	1	1,5
Andesit	262	29,5	35	24	11,5
A. F.	0,44	1,84	1,25	0,04	0,13
k) Laterit	92	44	41	7	7
Andesit	146	29	36	23,5	11,5
A. F.	0,63	1,52	1,14	0,30	0,61
l) Laterit	109	56	43	0	1
Andesit	206	29	35,5	24,5	11
A. F.	0,53	1,93	1,71	0	0,09

Hier sind die Basen sehr stark ausgewaschen und die Kieselsäure zwischen 37 bis 71%. Bei typischen Lateriten ist sie entschieden bedeutend stärker ausgewaschen. Nun wird die Kieselsäure mit den Alkalien entfernt; ist deren Menge niedrig, so reicht sie nicht aus, um alle Kieselsäure zu entfernen, so dass ein Rückstand zu erwarten ist. Weiter kann im Andesit auch Quarz vorhanden sein, wie beispielsweise in den Daziten, der sehr verwitterungswiderstandsfähig ist; auch kann er sich sekundär bilden, so dass die chemische Analyse allein nicht entscheiden kann, ob es sich um Laterit oder einen roten Boden handelt, es sei denn, dass der Humusgehalt bestimmt sei. Ganz sicher kann nur eine röntgenologische Tonanalyse Auskunft geben, weil man dann weiss, ob Hydrargillit oder Kaolinit vorliegt.

Zwischen der Lateritbildung und der Bodenbildung besteht ein prinzipieller Unterschied: hier wird die Kieselsäure angereichert, dort wird sie entfernt. MEIGEN (1911) erklärte das folgendermassen: „Laterit

besteht im wesentlichen aus Tonerdehydraten, namentlich aus Hydrargillit, meist gemischt mit Eisenoxyd oder Brauneisenerz. Seine Entstehung ist darauf zurückzuführen, dass in den Tropen wegen der geringen Menge von Humusstoffen im Boden die hydrolytische Wirkung des Wassers auf die Silikate rein zur Geltung kommt, während die Verwitterung im gemässigten Klima in erster Linie unter Mitwirkung von Kohlensäure erfolgt.“

Auch LANG (1915a) bestätigt ausdrücklich, dass der Laterit sich in Abwesenheit von Humus bilde. Nun haben die tropischen zonalen Böden, je nach steigender Regenmenge, 1—20% Humus und in allen ist Kaolinit gefunden worden. JAKOB (1945) unterscheidet zwischen chemischer und biogener Verwitterung. Könnte es jetzt nicht so sein, dass die Lateritbildung als Eluvialhorizont der chemischen, die siallitische der biogenen Verwitterung entspricht? Dann wäre der Laterit ein Gestein und kein Boden.

### ZUSAMMENFASSUNG

Je nach Klima finden wir über Andesiten und Dioriten verschiedene Auswaschungsfaktoren:

Zonale Böden	Klima	Auswaschungsfaktoren			
		si	c	alk	
	perhumid	+	—	—	+ Verlagerung der Sesquioxyde
	humid	+	—	+	
	semihumid	+	+	+	
	semiarid	+	+	—	
	arid	+	—	—	
Intrazonale Böden		+	—	+	+ starke Adsorption der Basen
	Laterit	—	—	—	

Jeder Bodentyp hat einen andern Chemismus und unterscheidet sich vom Laterit durch die Anreicherung der Kieselsäure, bzw. der Basen in einzelnen Böden.

### Schlussfolgerungen

Im Geographieunterricht wurde uns seinerzeit folgendes Bild von den Tropen beigebracht:

Klima:	trocken	wechselfeucht	immerfeucht
Vegetation:	Steppe	Savanne	Regenwald
Perkolation:	aufwärts	wechselnd	abwärts
Boden:	Schwarzerde	Gelberde	Roterde + Laterit

Alles das findet man in den Tropen, es sind dies die auffallenden Tatsachen und daher hundertfach bestätigt. Inzwischen aber haben festgestellt:

1. LANG, dass es in den Tropen fünf Klimate gibt.
2. STREMMER (1926), dass bei Ortsteinbildung der Wald durch die Savanne, bzw. Heide ersetzt wird.
3. MOHR, dass die Perkolationsrichtung durch die Tiefe des Grundwasserspiegels bestimmt wird.
4. RUSSEL (GLINKA), dass die Farbe des Verwitterungsproduktes durch das Alter bestimmt wird.
5. MEIGEN und LANG, dass der Laterit sich in Abwesenheit von Humus bildet.

Aus diesen Tatsachen ergeben sich Widersprüche, auf die wir hier nicht näher eintreten wollen, wohl aber auf die Folgen hinweisen. Jeder, der sich mit tropischen Böden befassen will oder muss, hat folgende Entschiede zu treffen:

1. Gibt es in den Tropen drei oder fünf Klimate?
2. Ist die Regenmenge oder Regenverteilung massgebend?
3. Unter welchen Bedingungen bildet sich eine Savanne?
4. Wird die Perkolationsrichtung durch das Klima oder die Lage des Grundwasserspiegels bestimmt?
5. Was ist Laterit?
6. Was sind Roterden?
7. Was sind Gelberden?
8. Was sind Schwarzerden?

Jeder beantwortet diese Fragen auf Grund seiner Erfahrungen und dadurch erhält jeder ein anderes System; in diesem denkt er und schreibt er, aber er wird nicht verstanden, weil der Leser in einem anderen System denkt. In den Tropen kann es dann passieren, dass der Bodenkundler mit den Tatsachen in Widerspruch kommt und wird dann sein System ändern. In der gemässigten Zone gibt es zwei weitere Schwierigkeiten. Entscheidet man sich für 5 Klimate, so weiss man nicht, dass der „hochstämmige immergrüne Regenwald (besser Laubwald) der immerfeuchten Tropen“ sich bei jährlichen Regenmengen zwischen 140—250 cm und 0—5 ariden Monaten bildet und die Pflanzengeographen offenbar die Vegetation der humiden und perhumiden Tropen überhaupt nicht kennen, so dass hier leicht Irrtümer begangen werden. Die zweite Schwierigkeit ist die Wahl der Beispiele. Der zugrundeliegende Bericht aus den Tropen ist möglicherweise zutreffend, aber der Autor hat Laterit, Roterde und Gelberde anders definiert. Hier ist die Wahl reine Glücksache, aber die

Zahl der Kombinationsmöglichkeiten wächst weiter an und man kann sich einfach nicht verständigen.

Ist es nun möglich, hier Klarheit zu schaffen? Wir wollen es versuchen.

1. Gibt es in den Tropen drei oder fünf Klimate? Nach LANG sind es fünf und es sollten sich fünf verschiedene zonale Bodentypen bilden. Diese sind gefunden für das aride, semihumide, humide und perhumide, es fehlt der Boden des semiariden Klimas, der sich bei jährlichen Niederschlägen zwischen 70—125 cm bilden soll, dagegen sind glücklicherweise Böden bei Regenfaktoren von 110 und 123 und mit Regenmengen von 500 cm vorhanden, die dem humiden und perhumiden Klima entsprechen. Für die Böden haben sich also die Regenfaktoren bewährt.

2. Ist die Regenmenge oder die Regenverteilung massgebend? Hier ergeben die Tatsachen, dass die Bodenbildung sich nach den Regenmengen richtet. Ob sich auch die Vegetation nach der Regenmenge einstellt, geht aus den Tatsachen nicht ohne weiteres hervor und wir wollen uns hier darauf beschränken, die Schlüsse zu ziehen, die durch die mitgeteilten Tatsachen belegt werden können.

3. Unter welchen Bedingungen bildet sich die Savanne? Diese Frage kann auf Grund der mitgeteilten Tatsachen nicht beantwortet werden.

4. Wird die Perkulationsrichtung durch das Klima oder die Tiefe des Grundwasserspiegels bestimmt? In allen Klimaten bilden sich endoperkolative Böden; mit Ausnahme der zonalen Humusböden werden aus allen andern Böden Basen ausgewaschen und im ariden Klima sogar sehr stark, wie im perhumiden, wo allerdings der Vorgang schneller verläuft infolge der grössern Regenmenge. Wir finden also in allen Klimaten Eluvialböden, in denen das Wasser in die Tiefe abfließt. (Es gibt natürlich im ariden Klima Illuvialböden mit periodisch wechselnder Perkulationsrichtung, aber unter den beschriebenen Böden ist kein azonaler, so dass aus den Tatsachen nicht geschlossen werden darf, dass alle Tropenböden Eluvialhorizonte seien.)

5. Was ist Laterit? Bei allen reifen Böden finden wir die Kieselsäure im Boden angereichert, junge Böden bilden manchmal Ausnahmen. Die Bodenbildung ist offenbar siallitischer Natur oder ein biogener Vorgang, worüber die Ansichten jedenfalls einig gehen. Im Gegensatz dazu wird bei der Lateritbildung, wie deutlich aus den Analysen hervorgeht, neben den Basen auch die Kieselsäure entfernt. Es muss also zwischen siallitischer und allitischer Verwitterung ein prinzipieller Unterschied bestehen. Es darf vielleicht daran erinnert werden, dass MEIGEN und LANG die Lateritbildung in Abwesenheit von Humus erklären. Diese Humusarmut finden wir bei keinem tropischen Boden, also muss es sich um

Ausnahmen handeln, die sehr selten sind, denn meist bildet sich irgend ein Boden. Laterit wird sehr oft als Boden des ariden oder perhumiden Klimas beschrieben; wie die Analysen zeigen, sind diese alten, roten Böden sehr basenarm, aber in ihnen hat sich Kaolinit gebildet und die Kieselsäure ist angereichert. Daneben gibt es auch Tiefenlaterite, die aber geologisch zu erklären sind. Jedenfalls ist der Laterit kein Boden, sondern ein Gestein.

Die Fragen 6—8 können aus den vorliegenden Tatsachen nicht beantwortet werden, das Material ist zu gering.

Weiter geht aus den Tatsachen hervor, dass die Bodenbildung im humiden und perhumiden Klima in beiden Zonen ähnlich verläuft und hier Parallelisierung zulässig ist. Das dürfte auch in den andern Klimaten zulässig sein, aber es muss hier darauf aufmerksam gemacht werden, dass die offizielle Klassifikation die zonalen und intrazonalen „Waldböden“ dieser gemässigten Klimate nicht kennt, sondern nur die entsprechenden Steppenböden. Der „zonale“ Prärienboden ist offenbar, wie deutlich aus den Beschreibungen hervorgeht, ein azonaler Steppenboden; der Tschernosem mit seinem A-C-Profil ist ebenfalls baumfeindlich, offenbar ein azonaler-intrazonaler Boden. Man kennt Chernosemprofile aus dem Braunerde- und Podsolgebiet, was ohne weiteres für einen intrazonalen, azonalen oder azonalen-intrazonalen Boden begrifflich ist, nicht aber für einen zonalen, wie Braunerde und Podsole. Im semiariden Klima beschreibt GLINKA Braunerde und Kastanienboden, die flachgründig sind, und SIGMOND klassifiziert diese Böden als braunen und kastanienbraunen Steppenboden und den Tschernosem als schwarzen.

SIGMOND (1930) schreibt über die Salzböden: „Es ist auch die Frage aufgeworfen worden, ob die Bezeichnung Alkaliböden nicht durch eine bessere ersetzt werden könnte, da dieselbe grosse Ähnlichkeit mit dem Begriff Alkalinität hat und weil z. B. in Ungarn und Russland die Salzböden der trockenen Gebiete nicht selten einen  $p_H$ -Wert unter 7 erkennen lassen, also unter Umständen ganz entschieden in das Gebiet der Böden von saurer Reaktion fallen, aber trotzdem den typischen Charakter des Alkalibodens tragen, und es sicherlich eigenartig klingen dürfte, von sauren Alkaliböden zu sprechen.“

Unschwer erkennt man in diesen „sauren Alkaliböden“ das Äquivalent zum tropischen endoperkolativen Kaktusboden. Den Boden kennt man also, hat aber offenbar keinen Namen.

Diese Tatsachen zeigen:

1. Dass es im ariden Klima einen zonalen endoperkolativen Boden gibt.
2. Dass die Regenfaktoren LANGS 5 zonale Böden voraussagen, von

denen 4 sich auch über Andesit und Diorit bilden, aus dem semiariden Klima vorläufig kein Beispiel angeführt werden kann.

3. In den meisten Klimaten wurden auch intrazonale Böden über denselben Gesteinen angetroffen, was vermuten lässt, dass jede Bodenbildung intrazonal beginnt, dann, je nach Basenreichtum des Gesteins, früher oder später zu einem zonalen Bodentyp degeneriert.
4. Die Bodenbildung ändert mit zunehmender Regenmenge oder zunehmenden Regenfaktoren.
5. Die Bodenbildung ist siallitische Verwitterung mit Anreicherung der Kieselsäure in reifen Böden, im Gegensatz dazu wandert bei der Lateritbildung die Kieselsäure ab, woraus geschlossen werden darf, dass der eluviale Oberflächenlaterit allermindestens kein Boden sein kann.

Wenn auch diese Ergebnisse noch kein abschliessendes Urteil erlauben, so können die angeführten Tatsachen immerhin zur Klärung einiger der diskutierten Probleme der tropischen Böden beitragen.

### Bibliographie

- BLANCK E., 1930, Handbuch der Bodenlehre. Bd. III. Berlin.  
 — 1949, Einführung in die genetische Bodenlehre. Göttingen.
- BLANCK, RIESER und OLDERSHAUSEN, 1933/34, Beiträge zur chemischen Verwitterung und Bodenbildung Chiles. Chemie der Erde.
- BURNOTTE J. L., 1949, Introduction à l'étude des sols de la plaine de la Ruzizi. Bull. Agr. du Congo Belge **XL**, No. 1, 209—216.
- GAZTAMBIDE DE URRUTÍA S., 1950, Primary soil forming processes as influenced by the composition of parent material and environmental conditions. The Journ. of Agr. of the University of Porto Rico **XXXIV**, No. 3, 271—285.
- GEERING J., 1936, Beitrag zur Kenntnis der Braunerdebildung auf Molasse im schweizerischen Mittelland. Landw. Jahrb. d. Schweiz **50**, Nr. 2, 136—207.
- GLINKA K., 1914, Die Typen der Bodenbildung. Berlin.
- JAKOB J., 1945, Der chemische Aufbau unseres Planeten. Zürich.
- JENNY H., 1948, Great soil groups in the equatorial regions of Colombia, S. A. Soil Science **66**, No. 1, 5—28.
- KELLOGG and DAVOL, 1949, An exploratory study of soil groups in the Belgian Congo. Brüssel.
- KNAUER R., 1937, Baumwollbau und Bodenuntersuchungen im Staate São Paulo. D. Ern. d. Pfl. **33**, Nr. 13/14, 208.
- LANG R., 1915, Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. Int. Mitt. f. Bodenkunde.  
 —, 1915a, Die klimatischen Bildungsbedingungen des Laterits. Chemie der Erde.
- MOHR J., 1934, Der Boden der Tropen im allgemeinen und von Niederländisch-Indien im besonderen. D. Ern. d. Pfl. **30**, Nr. 13/14, 243—247.  
 —, 1944, Soils of equatorial regions. Ann Arbor.

- NIGGLI P., 1951, Gesteinschemismus und Magmalehre, Geol. Rundschau 39, 8—32.
- RAWITSCHER F., Die Erschöpfung tropischer Böden infolge der Entwaldung. Acta Tropica 3, Nr. 3, 211—241.
- REIFENBERG and EWBANCK, 1933, Investigation of soil profiles from Cyprus. The Imp. Journ. Exp. Agriculture I, No. 1, 85—96, No. 2, 156—164.
- SCHAUFELBERGER P., 1950, Wie verläuft die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung in den Tropen, insbesondere in Kolumbien? Schw. Min. u. Petr. Mitt. 30, Nr. 2, 238—257.
- 1951, Die roten und gelben Böden, insbesondere der Tropen. Zeitschr. f. Pflanzenernährung usw. 54, Nr. 2, 163—178.
- 1952, Gibt es in den Tropen Tschernosem? Idem 57, Nr. 2, 121—134.
- SIGMOND J., siehe BLANCK 1930.
- STREMME H., 1914, Laterit und Terra rossa als illuviale Horizonte humoser Waldböden. Geol. Rundschau.
- 1926, Grundzüge der praktischen Bodenkunde. Berlin.
- 1949, Die Böden der deutschen demokratischen Republik. Berlin.
- VAGELER P., 1935, Ostafrikanische Bodentypen. D. Ern. d. Pfl. 31, Nr. 8, 142—150.

### Zusammenfassung

Es wird die Verwitterung und Bodenbildung über Diorit, Andesit und ähnlichen Gesteinen in verschiedenen tropischen Klimaten gezeigt. In jedem Klima finden wir Böden mit zwei verschiedenen Auswaschungsfaktoren: in allen Klimaten finden wir einen Boden aus dem Ca verlagert wird, offenbar handelt es sich um die intrazonalen Bodentypen, zu dessen Bildung ein basenreiches Muttergestein notwendig ist; die Bodenreaktion kann basisch bis sauer sein, aber immer sind diese Böden reich an austauschbaren Basen. Mit der Zeit degenerieren sie zu einem zonalen Klimabodentyp mit verschiedenen Auswaschungsfaktoren und mit Anreicherung der Kieselsäure in reifen Böden. Wir finden frühere Beobachtungen bestätigt und folgende zonalen Böden auch auf andesitischen und dioritischen Muttergesteinen.

Klima	Boden	Auswaschungsfaktoren		
		si	c	alk
arid	Kaktusboden	+	—	—
semiarid	Bambusboden		fehlt	
semihumid	Humusboden	+	+	+
humid	Waldboden	+	—	+
perhumid	Urwaldboden	+	—	— + Verlagerung der Sesquioxide
	intrazonale Böden	+ + Anreicherung	—	+ + starke Adsorption der Basen — Auswaschung

Im Gegensatz zur siallitischen Bodenbildung steht die allitische Lateritbildung, hier wird im Gegensatz zur Bodenbildung die Kieselsäure entfernt und sie ist das kennzeichnende Perkolat für den Lateriten und nicht die gleichzeitige Verlagerung der Basen, die wir auch bei den Kaktus- und Urwaldböden finden, in denen aber noch die Sesquioxide in den Unterboden verlagert werden. Das kenn-

zeichnende Perkolat ist für den Lateriten die Kieselsäure, für den Kaktusboden sind es die Erdalkalien und Alkalien und für die Urwaldböden die Sesquioxyde.

Die ersten Berichte aus den Tropen beschrieben das Auffallende und erst im Laufe dieses Jahrhunderts machten die Bodenkundler auf das Typische aufmerksam und es ergaben sich Widersprüche und viele Kombinationsmöglichkeiten, die die Übersicht erschweren. Aber die vorliegenden Tatsachen gestatten einige Probleme zu lösen.

LANG vermutete in den Tropen 5 Klimate und 5 zonale Böden. Vier davon sind gefunden worden, einzig aus dem semiariden Klima liegt keine Bodenanalyse über Diorit oder Andesit vor, wohl aber solche aus den weniger bekannten humiden und perhumiden Tropen. Diese beiden Klimate sind den bisher bekannten (trocken, wechselfeucht und immerfeucht) hinzuzufügen. Die Regenfaktoren können für die Tropen verwendet werden.

Da die Regenfaktoren den Regenmengen parallel gehen, darf angenommen werden, dass für die Bodenbildung die Regenmenge massgebend ist und nicht die Regenverteilung.

Da wir auch im ariden Klima endoperkolative Kaktus- und Caliböden gefunden haben, dürfte kaum das Klima die Perkolationsrichtung bestimmen.