

Verwitterung und Bodenbildung auf basischen Eruptivgesteinen

Autor(en): **Schaufelberger, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **34 (1954)**

Heft 2

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-27141>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Verwitterung und Bodenbildung auf basischen Eruptivgesteinen

Von *P. Schaufelberger* (Chinchinà)

Früher wurde gezeigt (P. SCHAUFELBERGER 1950), dass bei gewissen Bodentypen, die wir als Klimasole bezeichnen, die Auswaschungsfaktoren mit den ziemlich allgemein abgelehnten Regenfaktoren wechseln. Aber daneben finden wir in jedem Klima andere, normal drainierte Böden, deren Auswaschungsfaktor aklimatisch ist; diese Böden finden wir auf basenreichen Muttergesteinen, wie Kalkstein, kalkhaltige Sedimente, basenreiche Silikate usw. Wir nennen sie Lithosole (SCHAUFELBERGER 1953).

Nun findet man im allgemeinen wenig Pauschalanalysen von Böden und Muttergestein. Immerhin verdanken wir BLANCK, NIGGLI und ihren Schülern systematische Untersuchungen von Verwitterungsprodukten und Böden, wobei ganze Profile analysiert wurden. Andere Autoren sind gelegentlich diesem Beispiel gefolgt. Glücklicherweise hat man in den Tropen eifrig nach Laterit gesucht, namentlich im ariden und perhumiden Klima, so dass dadurch die Pauschalanalysen von Böden und deren Muttergestein etwas zahlreicher sind.

Um nun aber Schlüsse über die chemischen Veränderungen bei der Verwitterung und Bodenbildung auf gewissen Muttergesteinen ziehen zu können, ist eine gewisse Anzahl von Analysen unentbehrlich, damit man feststellen kann, welches die Regel ist, von der es natürlich immer Ausnahmen gibt. Da nun kein prinzipieller Unterschied zwischen dem Chemismus dieser Vorgänge in den verschiedenen geographischen Zonen besteht, so können wir ohne weiteres die Analysen von ähnlichen Muttergesteinen aus den verschiedenen Zonen heranziehen. Nur ist dabei das herrschende Klima zu berücksichtigen, das, für unsere Zwecke, durch die Regenfaktoren genügend gekennzeichnet ist.

Bei der Verwitterung und Bodenbildung auf basischen Eruptivgesteinen können wir ebenfalls chemische und biogene Verwitterung unterscheiden. Im letzteren Falle ist weiter noch zu berücksichtigen, ob die

Basenwegfuhr frei, wie in drainierten Böden, oder ob sie gehemmt ist, wie in Wannen mit undurchlässigem Untergrund. Hier kann das Wasser nur durch Verdunstung entweichen und die Salze reichern sich an.

Tab. 1. *Lateritverwitterung*

	si	al	fm	c	alk	si : al	
a) Laterit	74	41,5	58	0	0,5	1,7	Carolina
Amphibol	99	14,5	57,5	23	5		MEIGEN
Q	0,65	2,80	1,01	0	0,10		
b) Laterit	2	59,5	40	0,5	0	0,03	Fr. Guinea
Diabas	109	15,5	56,5	24,5	3,5		BLANCK 1930
Q	0,02	3,82	0,71	0,02	0		
c) Laterit	0	4	96	0	0	0	ibidem
Peridotit	53	2	93,5	4	0,5		
Q	0	2,00	1,02	0	0		
d) Laterit	1,3	63	37	0	0	0,02	Indien
Trapp	137	35,5	34,5	24,5	5,5		NIGGLI 1926
Q	0,01	1,77	1,07	0	0		
e) Verwittert	59	38	38	19,5	4,5	1,55	USA
Gabbro	94	21,5	32,5	39	7		NIGGLI 1926
Q	0,63	1,77	1,17	0,50	0,64		
f) Laterit	16,5	74,5	21	1	3,5	0,22	Brasilien
Phonolith	184	39	11,5	7	42,5		NIGGLI 1951
Q	0,09	1,91	1,83	0,14	0,08		
g) Laterit	5	18,5	81	0	0,5	0,27	Cuba
Serpentin	70	2	94	3	1		REIFENBERG
Q	0,07	9,25	0,86	0	0,5		

I. CHEMISCHE ODER ALLITISCHE VERWITTERUNG

In Tab. 1 finden wir Analysen von Lateriten und lateritischen Verwitterungsprodukten und deren basischen Eruptivgesteinen. Wir können allerdings keine Garantie übernehmen, ob es sich in allen Fällen um die Bildung von Oberflächenlateriten handelt. Wir kennen auch Tiefenlaterite, denen von oben Eisen zugeführt wird und erst nach dessen Ausfällung setzt dann die eigentliche Lateritbildung ein, indem nun Kieselsäure und Basen ausgewaschen werden (SCHAUFELBERGER 1953a). Solche Tiefenlaterite werden daher im allgemeinen eisenreicher sein als die Oberflächenlaterite auf demselben Muttergestein.

Über die Verwitterung des indischen Trapps, Tab. 1d, schreibt NIGGLI (1926): Ausgesprochene SiO₂-Wegfuhr kennzeichnet bekanntlich die lateritische Verwitterung.

Trapp von Punah und zugehöriger Laterit

	si	al	fm	c	alk	k	mg	c/mg	h
Frisch	137	35,5	34,5	24,5	5,5	0,56	0,18	0,71	8,2
Laterit	1,3	63	37	—	—	—	—	0	176"

Auch die andern Analysen zeigen genau dieselbe Abwanderung der Kieselsäure und Basen. Bei dieser lateritischen Verwitterung handelt es sich um Hydratation, Oxydation des Eisens und Hydrolyse, durch die die Basen und die Kieselsäure beweglich werden. Dadurch reichern sich die Sesquioxide im Verwitterungsrückstand an. Immerhin dürfte in diesem auch eine wechselnde Menge von Quarz vorhanden sein, wie das si : al-Verhältnis zeigt, das zwischen 0 und 1,7 liegt. Es ist in allen Fällen bei diesen Lateriten auf basischen Eruptivgesteinen kleiner als 2.

Die Verwitterung des Gabbros aus den Vereinigten Staaten von Nordamerika deutet NIGGLI (1926) folgendermassen: „Stärkere Alkalienabnahme und grössere Resistenz des Eisengehaltes unterscheiden diesen Verwitterungsprozess in erster Linie von demjenigen des Gebietes von Bellinzona.“ Beim Gabbro sind die Kieselsäure und die Basen teilweise ausgewaschen, wie bei der Lateritbildung. Ohne Tonanalyse lässt sich nicht entscheiden, ob es sich um einen jungen Laterit handelt, oder ob bereits auf dem Laterit Bodenbildung eingesetzt hat, bei der die Kieselsäure und die Alkalien im Oberboden wieder angereichert werden, wie dies bereits beim Amphibol aus der Umgebung von Bellinzona (Tab. 2h) der Fall ist. Immerhin zeigt diese lateritische Gabbroverwitterung aus den USA (Tab. 1e), dass die chemische oder allitische Verwitterung nicht auf die Tropen beschränkt ist.

II. BIOGENE ODER SIALLITISCHE VERWITTERUNG

A. Mit freier Basenwegfuhr

1. Lithosole

Auf basenreichen Muttergesteinen, Kalkstein, kalkhaltigen Sedimenten, jungen vulkanischen Aschen, Diabas usw. finden wir in allen Klimaten eine siallitische Verwitterung mit demselben Chemismus: Anreicherung der Kieselsäure im Oberboden, Lixiviation des Ca und eine starke Absättigung der Umtauschkomplexe mit Basen. Dadurch unterscheiden sich chemisch die Lithosole von den Klimasolen. Je nach Alter der Bodenbildung und dem Basengehalt des Muttergesteins ist die Boden-

Tab. 2. *Lithosolbildung*

	si	al	fm	c	alk	si : al	
a) Boden	526	46,5	33	4,5	16	11,3	Schlesien
Melaphyr	185	30	35	20	15		BLANCK 1930
Q	2,84	1,55	0,94	0,23	1,07		
b) Boden	297	22	38	12	28	11,2	Bramburg
Basalt	98	16,5	53	17,5	13		BLANCK 1932
Q	3,01	1,33	0,71	0,69	2,15		
c) Boden	367	26	40	5	29	14,1	Hannover
Basalt	108	15,5	48	21,5	15		BLANCK 1932
Q	3,40	1,68	0,83	0,23	1,93		
d) Boden	423	31	48	6	15	13,6	Grefenburg
Basalt	107	15,5	48,5	21	15		BLANCK 1949
Q	3,95	2,00	0,99	0,28	1,00		
e) Boden	123	12,5	63,5	18,5	5,5	9,8	Saalebürg
Diabas	112	7	64,5	23	5,5		BLANCK, MELVILLE
Q	1,10	1,79	0,98	0,80	1,00		und BOCHT
f) Boden	125	32,5	49,5	15	3	3,8	Cypern
Gabbro	105	21	44,5	33,5	1		REIFENBERG
Q	1,19	1,55	1,11	0,45	3,00		
g) Boden	350	50	28,5	7,5	14	7,0	Russland
Basalt	152,5	37	33	20	10		GLINKA
Q	2,30	1,35	0,87	0,38	1,40		
h) Boden	135	36	38	18	8	3,7	Schweiz
Amphibol	123	26,5	41	25,5	7		NIGGLI 1926
Q	1,10	1,36	0,95	0,71	1,14		
i) Boden	273	38	38	14	10	7,1	Spitzbergen
Diabas	148	26	41	26	7		BLANCK 1930
Q	1,84	1,47	0,92	0,56	1,43		
k) Boden	276	40,5	40,5	8	11	8,7	Spitzbergen
Diabas	108	21	50	25	4		BLANCK, MELVILLE
Q	2,56	1,93	0,81	0,32	2,75		und BOCHT
l) Boden	354	2	66,5	14,5	17	177	Spitzbergen
Diabas	181	3	54,5	32,5	10		REIFENBERG
Q	1,96	0,66	1,22	0,45	1,7		

reaktion leicht basisch bis sehr sauer. Mit der Zeit degradieren diese Böden dann zu den entsprechenden Klimabodentypen. Bei dem hohen Basengehalt der gabbroiden Eruptivgesteine kann es daher nicht überraschen, dass das Muttergestein die Bodenbildung längere Zeit beeinflusst und dass namentlich in den kühleren Klimaten, bei weniger energischen Verwitterungsvorgängen, auf diesen basischen Gesteinen hauptsächlich Lithosole gefunden werden. Sie bilden aber auch in den Tropen das erste Stadium der Bodenbildung (Tab. 2).

Über die Amphibolverwitterung (Tab. 2h) sagt NIGGLI (1926): „Währenddem auch hier fm und c abgenommen haben und die Alkalien weitgehend erhalten blieben, weist das Verhältnis $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ andere Beziehungen auf, als die bislang konstatiert worden sind. Relativ am reichsten hat sich die Tonerde angereichert, nicht SiO_2 . Nehmen wir den Tonerdegehalt als konstant an, das heisst berechnen wir die Molekularwerte der Bodenanalyse auf $\text{al} = 26,5$, so erhalten wir

$$\text{si} = 90,5, \text{al} = 26,5, \text{fm} = 13, \text{alk} = 6.$$

Es sind also offenbar erhebliche Mengen von SiO_2 in Lösung gegangen. Wahrscheinlich haben sowohl die kalkreichen Plagioklase als auch die Hornblenden starke Zersetzung unter Bildung von Kieselsäuresol erlitten. Immerhin ist diese SiO_2 -Abnahme geringer als in den meisten Vergleichsanalysen anderer Lokalitäten und die Enteisung ist eine weiter fortgeschrittenere. Auch dieser zersetzte Amphibolit enthält kein Karbonat. In dem kalkarmen Gebirge des mittleren Tessins wird eben alles Calciumkarbonat fortgewaschen.“

Tab. 3. *Lithosolbildung umgerechnet auf $\text{al} = \text{al}'$*

	si	al	fm	c	alk
a) Boden	526	46,5	33	4,5	16
Gestein	286	46,5	54	31	23,5
Differenz	+ 240	0	- 21	- 26,5	- 7,5
b) Boden	297	22	38	12	28
Gestein	131	22	70,5	23	17,5
Differenz	+ 161	0	- 32,5	- 11	+ 10,5
c) Boden	367	26	40	5	29
Gestein	182	26	81	36	25
Differenz	+ 194	0	- 41	- 31	+ 4
d) Boden	423	31	48	6	15
Gestein	214	31	97	42	30
Differenz	+ 209	0	- 49	- 36	- 15
e) Boden	123	12,5	63,5	18,5	5,5
Gestein	200	12,5	111,5	41	10
Differenz	- 77	0	- 48	- 22,5	- 4,5
f) Boden	125	32,5	49,5	15	3
Gestein	163	32,5	69	52	1,5
Differenz	- 38	0	- 19,5	- 37	+ 1,5
g) Boden	350	50	28,5	7,5	14
Gestein	206	50	44,5	27	13,5
Differenz	+ 144	0	- 16	- 19,5	+ 0,5

	si	al	fm	c	alk
h) Boden	135	36	38	18	8
Gestein	157	36	55,5	34,5	9,5
Differenz	- 22	0	- 17,5	- 16,5	- 1,5
i) Boden	273	38	38	14	10
Gestein	217	38	60,5	38	10,5
Differenz	+ 56	0	- 22,5	- 24	- 0,5
k) Boden	276	40,5	40,5	8	11
Gestein	208	40,5	96,5	48	7,5
Differenz	+ 68	0	- 56	- 40	+ 3,5
l) Boden	354	2	66,5	14,5	17
Gestein	119	2	36	21,5	6,5
Differenz	+ 235	0	+ 30,5	- 7	+ 10,5

In Tab. 3 haben wir die Molekularzahlen so umgerechnet, dass al des Muttergesteins gleich al' des Bodens ist. Dadurch erhalten wir in Molekularzahlen die minimale Menge des Muttergesteins, die notwendig war zur Bildung eines Bodens mit demselben Al-Gehalt. Mit Ausnahme der Böden 3e, 3f und 3h finden wir eine Anreicherung der Kieselsäure im Oberboden, während die übrigen Komponenten im allgemeinen abgewandert sind. Eine Ausnahme bildet der Boden 3l mit einer Akkumulation von fm. Hier ist allerdings der Al-Gehalt des Muttergesteins sehr gering, so dass die Anreicherung der Sesquioxide eher durch fm charakterisiert sein dürfte. In den Böden 3b, c, f, g, k und l sind die Alkalien angereichert, was leicht durch die Basenzufuhr aus der faulenden Waldstreu erklärt werden kann.

Berechnen wir dagegen die Analysen so um, dass si als konstant angenommen wird, Tab. 4, so zeigt sich ein Abwandern der übrigen Komponenten, mit Ausnahme der Böden 4f, h und k für die Alkalien, und 4e, f und g für das Al. Die Erklärung dieser letzteren Anreicherung im Oberboden dürfte bei drainierten Böden einige Schwierigkeiten verursachen, da kaum anzunehmen ist, dass Al in solchen Mengen in der Pflanzenstreu enthalten ist. Es ist daher eher an eine Abwanderung der Kieselsäure zu denken.

Nun kennt man die Klagen der Bodenkundler, dass die Deutung der Pauschalanalysen so schwer sei, weil alle gesteinsbildenden Elemente beweglich seien. Auch das Al dürfte in gewissen Fällen verlagert werden, aber im grossen und ganzen gibt es, als konstant angenommen, doch einen Überblick über die absolute Auswaschung bei der Bodenbildung. Diese steht aber wohl in enger Beziehung mit der Dauer des Vorganges und ist daher zeitlichen Veränderungen unterworfen.

Tab. 4. *Lithosolbildung umgerechnet auf $si = si'$*

	si	al	fm	c	alk
a) Boden	526	46,5	33	4,5	16
Gestein	526	85	99,5	57	42,5
Differenz	0	-38,5	-66,5	-52,5	-26,5
b) Boden	297	22	38	12	28
Gestein	297	50	160	53	39
Differenz	0	-28	-122	-41	-11
c) Boden	367	26	40	5	29
Gestein	367	52,5	163	73	51
Differenz	0	-25,4	-123	-68	-22
d) Boden	423	31	48	6	15
Gestein	423	61	192	83	59
Differenz	0	-30	-144	-77	-44
e) Boden	123	12,5	63,5	18,5	5,5
Gestein	123	8	71	25,5	6,5
Differenz	0	+ 4,5	- 7,5	- 7	- 1
f) Boden	125	32,5	49,5	15	3
Gestein	125	25	53	40	1
Differenz	0	+ 7,5	- 3,5	-25	+ 2
g) Boden	350	50	28,5	7,5	14
Gestein	350	85	76	46	23
Differenz	0	-35	-47,5	-38,5	-9
h) Boden	135	36	38	18	8
Gestein	135	29	45	28	7,5
Differenz	0	+ 7	- 7	-10	+ 0,5
i) Boden	273	38	38	14	10
Gestein	273	48	75,5	48	13
Differenz	0	-10	-37,5	-34	-3
k) Boden	276	40,5	40,5	8	11
Gestein	276	53,5	128	64	10
Differenz	0	-13	-87,5	-56	+ 1
l) Boden	354	2	66,5	14,5	17
Gestein	354	6	107	63,5	19,5
Differenz	0	-4	-40,5	-49	-2,5

Nun entspricht aber der Boden einem Gleichgewichtszustand und für seine Beurteilung ist es wesentlicher, die Art dieses Gleichgewichtes irgendwie erkennen zu können, was durch die Auswaschungsfaktoren möglich ist. Sie zeigen uns, welche Komponenten im Oberboden gegenüber dem Muttergestein angereichert oder ausgewaschen sind. Im speziellen Falle der Lithosole finden wir eine Anreicherung der Kieselsäure und

der Alkalien sowie eine Lixiviation des Ca. Dieses Kennzeichen aber allein genügt nicht zur Identifizierung der Lithosole, sondern sie müssen auch einen hohen Gehalt an austauschbaren Basen zeigen, denn dadurch unterscheiden sie sich von den Waldböden des humiden Klimas mit denselben Auswaschungsfaktoren.

2. Klimasole

a) Kaktusböden

Im ariden Klima, bei Regenfaktoren unter 40, zeigen die Auswaschungsfaktoren, Tab. 5, ebenfalls ein Abwandern der Basen, wie bei der Lateritverwitterung, aber die Kieselsäure ist angereichert. Al ist in diesen Böden gegenüber der Kieselsäure schwach bis ausgeprägt angereichert, was vermuten lässt, dass diese ebenfalls teilweise abgewandert ist, vor allem im ersten Stadium der Bodenbildung. Dass hier Kieselsäure verlagert wird, lässt sich auch daran erkennen, dass man in Ebenen unter Kaktusböden im Unterboden oft Kieselsäureortsteine beobachtet.

Tab. 5. *Kaktusbodenbildung*

	si	al	fm	c	alk	si : al	
a) Boden	201	49	47	1	3	4,1	Siam
Therralit	96	23	43	21	13		BLANCK, CREDNER
Q	2,09	2,13	1,09	0,05	0,23		u. OLDERSHAUSEN
b) Boden	181	88,5	5,5	2	4	2,04	Namib
Amphibol	76	16	52,5	25,5	6		NIGGLI 1926
Q	2,24	5,55	0,11	0,08	0,67		
c) Boden	178	33,5	46	14,5	6	5,3	Kolumbien
Diabas	118	19	46	26	9		SCHAUFELBERGER
Q	1,51	1,76	1,00	0,55	0,67		1950

Dass bei dieser Basenlixiviation die Böden allmählich versauern müssen, liegt auf der Hand. Solche Verhältnisse beschreiben offenbar DEMOLON und AUBERT aus Afrika. Vermutlich handelt es sich um Kaktusböden des ariden Klimas, wo solche p_H -Werte vorkommen; wir finden sie allerdings auch in den humiden Klimaten, die aber im afrikanischen Tiefland Ausnahmen sind. Sie berichten: „Schon 1900 hat MUENZ in seiner Studie über den Kulturwert der Böden auf Madagaskar auf die grosse Armut hingewiesen. Dies wird von den verschiedenen Studienkommissionen auch als allgemeine Tatsache für die kürzlich durchstreiften Gebiete Zentralafrikas bestätigt. Während das Kalzium durch die Sickerwässer im Zustand von löslichen Salzen nach den Meeren weggeführt wird, bleibt der

Phosphor durch Eisen- und Aluminium-Sesquioxyde in für die Pflanzen schwer assimilierbaren Formen gebunden; diese Verbindungen wandern langsam nach den tiefer gelegenen Schichten ab. Die folgenden, einer grossen Anzahl von Analysen entnommenen Ergebnisse bestätigen die vorstehenden Angaben.“ Tab. 6.

Tab. 6. *Analysen afrikanischer Böden*

	pH	Austauschbare Kationen				Sättigung
		MAe/100 g				durch Basen
		Ca	Mg	K	Total	%
Rote lateritische Böden:						
1. Unter tropischem Urwald	4,9	0,1	0,1	0,3	0,5	7
2. Im Anbau	4,8	1,7	1,0	0,2	2,9	17
Eisenhaltige Savannenböden	5,7	6,9	1,9	0,6	9,4	52
Lehmböden der gemässigten Zonen	6,5	10,0	0,5	0,3	10,0	55
	− 6,8	− 20,0	− 1,0	− 0,5	− 20,0	− 60

Die roten „lateritischen Böden“ zeigen deutlich die Kennzeichen von Kaktusböden des ariden Klimas. Der eisenhaltige Savanneboden mit gehemmter Drainage zeigt dagegen noch deutlich die Anklänge an einen Lithosol. Der zum Vergleich herangezogene Lehm Boden der gemässigten Zone dürfte ebenfalls einem solchen entsprechen, wie aus dem hohen Gehalt an austauschbaren Basen zu schliessen ist.

Dass sich im ariden Klima basenarme, saure Böden bilden, ist schon öfters festgestellt worden. Aber da diese Bodentypen in den Lehrbüchern der Bodenkunde und in den offiziellen Bodenklassifikationen fehlen, ergibt sich für den Bodenkundler in den Tropen immer wieder dieselbe Schwierigkeit: man weiss nicht, wie man sie benennen soll. So finden wir sie unter den Bezeichnungen Laterit, lateritisch, nicht lateritisch, podsolic usw. Da man in der Bodenkunde diese ausgesprochene Basenauslaugung nur vom Podsol und Laterit kennt, ist es begreiflich, dass diese Namen gewählt werden. Man kennt allerdings auch den Solod oder Soloti, da dieser aber als degradierter Solonetz definiert und beschrieben ist, so ist die Identität von Soloti und Kaktusboden nicht ohne weiteres ersichtlich und verständlich. Aber aus den Beschreibungen geht doch hervor, dass der Soloti normal drainiert ist und bei der Degradierung des Solonetz durch normale Drainage bildet sich ein Klimabodentyp. Bildet er sich direkt, so darf man ihn aber nach der Definition nicht als Soloti bezeichnen.

Das Verhältnis si : al liegt bei diesen Kaktusböden auf basischen Eruptivgesteinen zwischen 2,04 und 5,3. Es handelt sich also um sialliti-sche Verwitterung.

b) Bambusboden

BLANCK, PASSARGE und RIESER verdanken wir eine Bodenanalyse auf Basalt aus dem semiariden Klima Palästinas. Tab. 7. Die Kieselsäure ist hier ebenfalls angereichert und das Verhältnis $si : al = 4,4$ weist ebenfalls auf siallitische Verwitterung. Ausgewaschen werden in diesem Klima in erster Linie die Alkalien und der Tabakanbau auf diesen Böden weiss daher Kalidünger sehr zu schätzen.

Tab. 7. *Bambusbodenbildung*

	si	al	fm	c	alk	si : al	
a) Boden	121	27,5	46,5	23	3	4,4	Palästina
Basalt	85	27,5	46	23	3,5		BLANCK, PASSARGE
Q	1,41	1,00	1,01	1,0	0,86		und RIESER

c) Humusboden

Über die Bodenbildung auf Serpentin aus dem semihumiden Klima Cyperns unterrichtet uns Tab. 8. Es überrascht, dass bei dem normal drainierten Humusboden die Basen im Oberboden gegenüber dem Muttergestein mindestens relativ angereichert sind. Nun weiss man aber, dass den Böden aus der faulenden Waldstreu mineralische Nährstoffe durch das versickernde Regenwasser zugeführt werden, die sie durch Adsorption festhalten. Auch hier handelt es sich um siallitische Verwitterung ($si : al = 10,6$).

Tab. 8. *Humusbodenbildung*

	si	al	fm	c	alk	si : al	
a) Boden	101	9,5	76	13,5	1	10,6	Cypern
Serpentin	66	2,5	97	0	0,5		REIFENBERG
Q	1,53	3,80	0,78	∞	2		

Auch diesen Bodentyp wird man in den Lehrbüchern der Bodenkunde und in den offiziellen Bodenklassifikationen umsonst suchen, obschon er aus den Vereinigten Staaten von Nordamerika und Europa wiederholt beschrieben ist. Aber offiziell gilt in Europa der zeitweise nasse Tschernosem auf Löss als Klimabodentyp. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika bilden sich im semihumiden Klima gleich zwei Klimabodentypen, der baumfeindliche Tschernosem und der ebenfalls baumfeindliche Prärieboden, die beide zeitweise als vernässt beschrieben sind!

d) Waldböden

Im humiden Klima Kolumbiens bildet sich auf Diabas der Waldboden, der dieselben Auswaschungsfaktoren zeigt wie die Lithosole, aber im Gegensatz zu diesen sehr arm an austauschbaren Basen ist. Tab. 9. Auch hier ist das Verhältnis $si : al = 3,8$, also grösser als 2, so dass es sich ebenfalls um siallitische Verwitterung handelt.

Tab. 9. *Waldbodenbildung*

	si	al	fm	c	alk	si : al	
a) Boden	204	54	21,5	5,5	18,5	3,8	Kolumbien
Diabas	116	23	38	23,5	15,5		SCHAUFELBERGER
Q	1,75	2,35	0,58	0,23	1,19		1950

e) Urwaldböden

Aus dem perhumiden Klima liegen verschiedene Analysen von Böden auf basischen Eruptivgesteinen vor. Tab. 10. Die Analysen aus Deutschland und den Vereinigten Staaten von Nordamerika zeigen dieselben Auswaschungsfaktoren wie der Boden aus dem heissen, perhumiden Tropenklima. Überall ist die Kieselsäure im Oberboden angereichert, während die Basen ausgelaugt werden, wie beim Kaktusboden des ariden Klimas.

Tab. 10. *Urwaldbödenbildung*

	si	al	fm	c	alk	si : al	
a) Boden	98,5	9	81,5	8	1,5	10,9	Schriesheim
Peridotit	74	6	75,5	15,5	3		NIGGLI 1926
Q	1,33	1,50	1,08	0,52	0,50		
b) Boden	99	9	82	7,5	1,5	11,0	Deutschland
Serpentin	74	6	74,5	16	3,5		REIFENBERG
Q	1,34	1,5	1,1	0,47	0,43		
c) Boden	205	22	54	10	14	9,3	Deutschland
Basalt	82	9,5	45,5	27,5	17,5		GLINKA
Q	2,5	2,32	1,18	0,37	0,80		
d) Boden	80	8,5	80,5	10	1	9,4	Saalburg
Diabas	69	3	70	25,5	1,5		BLANCK, MELVILLE
Q	1,16	2,83	1,15	0,39	0,66		und BOCHT
e) Boden	186	48,5	39,5	6	6	3,8	Kolumbien
Diabas	116	23	38	23,5	15,5		SCHAUFELBERGER
Q	1,60	2,11	1,04	0,26	0,38		1950
f) Boden	98	21	73	1	5	4,6	USA
Diabas	85	15	59	20	6		NIGGLI 1926
Q	1,15	1,40	1,73	0,05	0,63		

Zwischen beiden Bodentypen bestehen aber auch Unterschiede. Im Kaktusboden werden die Sesquioxide im Oberboden, beim Urwaldboden dagegen im Unterboden angereichert; dieser hat einen Humusgehalt zwischen 10 und 20%, jener dagegen nur von ca. 1%.

Das Verhältnis $si : al$ liegt zwischen 3,8 und 11,0, so dass es sich auch hier um sialitische Verwitterung handelt, bei der sich kein Laterit bildet, trotzdem gerade viele Autoren diesen als Boden des perhumiden Klimas zu erklären versuchen.

Ferner zeigen die Analysen, wie auch diejenigen der Lithosole, dieselben Auswaschungsfaktoren in den verschiedenen geographischen Zonen. Das lässt eher vermuten, dass die Bodenbildung in allen Zonen prinzipiell gleich verläuft. Wohl bestehen natürlich graduelle Unterschiede, indem in den Tropen auf basischen Eruptivgesteinen mehr Klimabodentypen beobachtet werden, während in der gemässigten Zone die Lithosole noch überwiegen. Einzig im perhumiden gemässigten Klima haben sich ebenfalls bereits Klimabodentypen gebildet.

B. Mit gehemmter Basenwegfuhr

Sehr verbreitet ist in der Literatur die Ansicht, dass sich der Laterit im heissen, ariden oder semiariden Tropenklima mit ausgeprägten Trockenperioden bilde. In diesem Falle hätte man im Oberboden periodisch wechselnde Perkulationsrichtung, so dass dann in der Trockenperiode die Sesquioxide nach oben wandern und dort als Eisenpanzer ausgeschieden werden. Immerhin ist es schon etwas auffallend, dass diese Theorie sehr viele Modifikationen aufweist, da offenbar die Erklärung der Sesquioxidwanderung nach oben doch etwas Schwierigkeiten verursacht.

Nun verdanken wir VAN DER MERWE und HEYSTEK zwei Bodenanalysen auf Diabas aus dem ariden Klima Südafrikas, die etwas Licht in die Frage dieser Lateritbildung bringen dürften. Sie fanden, ziemlich nahe beieinander, folgende zwei „brown to reddish brown ferruginous lateritic soils“:

Boden	Regenmenge cm	$si : al$	S MAe/100 g	Tonmineral
Marikana 1	65	2,06	13,8	Kaolinit
Marikana 2	65	5,56	52,4	Montmorillonit

Im ariden Klima bilden sich als normaldrainierte Bodentypen der Kaktusboden und der Lithosol auf basischen Eruptivgesteinen. Im Boden Marikana 1 ist $S = 13,8$, was auf einen Lithosol schliessen lässt. Dieser

bildet sich bei siallitischer Verwitterung und im vorliegenden Falle ist $si : al = 2,06$, also grösser als 2. In den normal drainierten Böden Kolumbiens (SCHAUFELBERGER 1951) wurde Kaolinit als Tonmineral festgestellt. Dieses Mineral hat sich ebenfalls im Boden Marikana 1 gebildet. Die mitgeteilten Tatsachen stimmen also mit denen des Lithosoles des ariden Klimas überein, so dass wir wohl annehmen dürfen, dass der Boden Marikana 1 normal drainiert und die Basenwegfuhr frei sei.

Nach VENEMA (SCHAUFELBERGER 1953) bilden sich die Tonminerale der Montmorillonitgruppe unter folgenden Bedingungen: „Sobald aber

Tab. 11. *Auswaschungsfaktoren von Laterit und Böden auf basischen Eruptivgesteinen*

		qsi	qc	qalk	si : al	
Laterit	1 a	0,65	0	0,10	1,7	allitische Verwitterung
	b	0,02	0,02	0	0,03	
	c	0	0	0	0	
	d	0,01	0	0	0,02	
	e	0,63	0,50	0,64	1,55	
	f	0,09	0,14	0,08	0,22	
Lithosole	2 a	2,82	0,22	1,07	11,3	siallitische Verwitterung
	b	3,01	0,69	2,15	11,2	
	c	3,40	0,23	1,83	14,1	
	d	3,95	0,28	1,00	13,6	
	e	1,10	0,80	1,00	9,8	
	f	1,19	0,45	3,00	3,8	
	g	2,30	0,38	1,40	7,0	
	h	1,10	0,71	1,14	3,7	
	i	1,84	0,56	1,43	7,1	
	k	2,56	0,32	2,75	8,7	
	l	1,96	0,45	1,70	177	
Kaktusböden	5 a	2,09	0,05	0,23	4,1	
	b	2,24	0,08	0,67	2,04	
	c	1,51	0,55	0,67	5,3	
Bambusböden	7	1,41	1,0	0,86	4,4	
Humusböden	8	1,53	∞	2	10,6	
Waldböden	9	1,75	0,23	1,19	3,8	
Urwaldböden	10 a	1,33	0,52	0,50	10,9	
	b	1,34	0,47	0,43	11,0	
	c	2,50	0,37	0,80	9,3	
	d	1,16	0,39	0,66	9,4	
	e	1,60	0,26	0,38	3,8	
	f	1,15	0,05	0,63	4,6	

durch irgendeine Ursache, wie z. B. in einem Tale zwischen Hügeln, eine Basenzufuhr von der eluvialen Verwitterung höher gelegener Stellen stattfindet, während die Basenwegfuhr gehemmt ist, wird die dortige Verwitterung illuvial, also azonal im Sinne STEBUTTS, und über 20 bis 25° C liegt die Möglichkeit vor, dass sich Montmorillonit bildet, wie in Indonesien und in Indien, oder Beidellit, wie in Kenya und Abessinien beobachtet.“

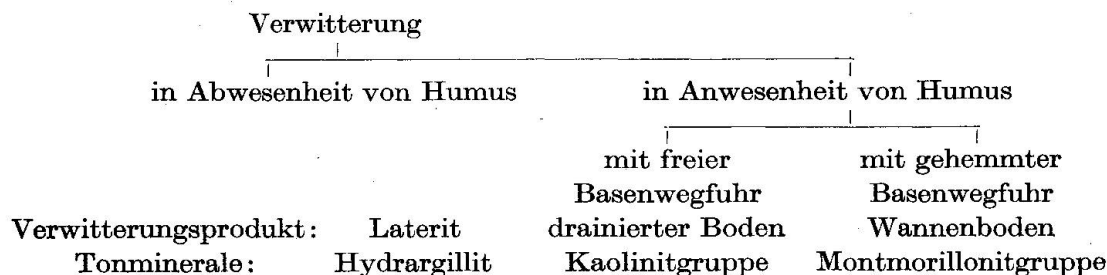
Nun ist der Boden Marikana 2 ungenügend drainiert, was in Wannen mit undurchlässigem Untergrund der Fall ist. Das Wasser kann dann nur verdunsten und die gelösten Salze bleiben im Boden zurück, so dass dieser mit der Zeit versalzt. Dass im Boden Marikana 2 eine Salzanreicherung stattgefunden hat, geht aus $S = 52,2 \text{ MAe}/100 \text{ g}$ ohne weiteres hervor, auch wenn keine Salzausblühungen während der Trockenzeit beobachtet wurden. Diese Salze stammen aus der eluvialen Bodenbildung höher gelegener Stellen, zu denen vermutlich der Boden Marikana 1 gehört. In diesen Wannen mit seitlicher Basenzufuhr und gehemmter Basenwegfuhr bilden sich nach VENEMA Tonminerale der Montmorillonitgruppe, und im Boden Marikana 2 ist Montmorillonit gefunden worden.

Im ariden Klima Südafrikas mit ausgeprägten Trockenzeiten finden wir Wannenböden mit periodisch wechselnder Perkulationsrichtung mit seitlicher Basenzufuhr und gehemmter Basenwegfuhr. Dabei bildet sich Montmorillonit, also kein Laterit.

Zur Lateritfrage

Auf basischen Eruptivgesteinen bildet sich Laterit, aus dem die Kieselsäure entfernt ist. Im ariden Klima finden wir auf denselben Gesteinen den Kaktusboden mit Kieselsäureanreicherung und siallitischer Verwitterung. Im perhumiden Klima bildet sich der ebenfalls siallitische Urwaldboden mit Anreicherung der Kieselsäure im Boden. In Wannen des ariden Klimas von Südafrika finden wir auf Diabas einen basenreichen Boden mit Montmorillonit. Also überall da, wo sich nach der Theorie Laterit bilden sollte, finden wir in den Tropen siallitische Verwitterung.

Wir können daher folgende Verwitterungsvorgänge unterscheiden:



Wir haben also zwei prinzipielle Verwitterungsvorgänge: 1. in Abwesenheit von Humus und 2. in Anwesenheit von Humus. Auf diese Tatsache haben schon verschiedene Autoren hingewiesen und es unterscheiden z. B.:

BAUER	Lateritbildung	Kaolinbildung
MEIGEN	Hydrolyse	Kohlensäureverwitterung
JAKOB	chemische	biogene Verwitterung
NIGGLI (1951)	allitische	siallitische Verwitterung

In den normal drainierten Böden bilden sich Minerale der Kaolinitgruppe; dass sich in den Böden auch Kohlensäure bildet ist allgemein anerkannt. Ebenso dass zur Bodenbildung die Zersetzung organischer Substanz, biogene Verwitterung, wesentlich ist. Das Verhältnis si : al der vorliegenden Analysen von Böden über basischen Eruptivgesteinen zeigt einmütig siallitische Verwitterung. In allen diesen Fällen handelt es sich um Bodenbildung mit Anreicherung der Kieselsäure im Oberboden.

Im Gegensatz dazu steht die Lateritbildung, Hydrolyse, chemische und allitische Verwitterung mit Wegfuhr der Kieselsäure. Hier kann es sich um keine Bodenbildung handeln, sondern um einen geologischen Vorgang mit einer Gesteinsbildung. Jeder Versuch, die Lateritbildung durch bodenkundliche Vorgänge erklären zu wollen, ist daher zum vornherein zum Scheitern verurteilt.

Die Geologen kennen also die Verwitterung in Abwesenheit und Anwesenheit von Humus und daraus ergibt sich auch ohne weiteres die Grenze zwischen Geologie und Bodenkunde. Diesen Unterschied kennt oder anerkennt die Bodenkunde offenbar nicht und sie setzt Verwitterung = Bodenbildung, und dadurch wird der Laterit dann zum Boden.

Die zweite Quelle zu zahlreichen Missverständnissen finden wir in der Bodendefinition selber. Wird dieser in irgend einer Form als Verwitterungsprodukt unter Mitwirkung der Organismen definiert, dann ist der Laterit wiederum kein Boden. Wesentlich anders liegen die Verhältnisse, wenn der Boden als Pflanzenstandort definiert ist. Wir wissen, dass häufig in Sand- und Kieshaufen, ja selbst in älteren Kohlendepots, Samen zur Keimung und Entwicklung gelangen. Aber deswegen wird kein Petrograph Sand, Kies, Kohle usw. als Boden bezeichnen. Nun finden wir auch auf Laterit Pflanzen beschrieben; aber auch in diesem Falle wird der Laterit Muttergestein sein.

Bezeichnet man aber Sand, Kies, Kohle und Laterit als Boden, dann wird es nicht leicht sein, den Unterschied zwischen Muttergestein und Boden festzulegen. Dass aber zu allermindestens chemische Unterschiede

zwischen basischen eruptiven Muttergesteinen und den Verwitterungsprodukten bestehen, zeigen eindeutig die hier angeführten Analysen.

Das Kriegsbeil wird man erst begraben können, wenn man sich einmal über die Definitionen von Verwitterung, Bodenbildung und Boden geeinigt haben wird. Die ältere Geologie kann da ihrer jüngeren Schwester, der jungen Bodenkunde, den Weg zeigen.

Man kann sehr wohl allitische und siallitische Verwitterung unterscheiden; denn bei den Lateriten auf basischen Eruptivgesteinen liegt der Wert für $si : al$ unter 2 und bei der siallitischen Bodenbildung liegt er in allen Analysen höher. Unterscheidet man dagegen allitische und siallitische Bodenbildung, so kommt man in eine Sackgasse, da dann alle reifen Böden siallitischer Natur sind und man hat die Tropenböden alle in einem Topf. Genau dasselbe gilt auch für den neuerdings geprägten Ausdruck Latosol, der nur ein neuer Name für die Tropenböden ist. Man hat nur einen neuen Namen für einen alten Begriff. Er umfasst alle Tropenböden und ist nicht der Ausdruck für irgend eine bestimmte Gruppe.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Auch auf basischen Eruptivgesteinen finden wir allitische und siallitische Verwitterung. Die letztere entspricht der Bodenbildung.

2. Wie die Lithosol- und Urwaldbodenbildung zeigt, besteht zwischen der Bodenbildung in den verschiedenen geographischen Zonen kein prinzipieller, wohl aber ein gradueller Unterschied. In der gemässigten Zone verläuft die Bodenbildung langsamer und die Lithosole überwiegen. In den Tropen und im perhumiden gemässigten Klima finden wir aber auch bereits Klimasole auf diesen basenreichen Muttergesteinen. Offenbar beginnt die Bodenbildung mit dem Lithosol und endigt mit dem Klimabodentyp des betreffenden Klimas.

3. Bei allitischer Verwitterung, in Abwesenheit von Humus, ist der Hydrargillit beständig. Bei der siallitischen Verwitterung finden wir in drainierten Böden mit freier Basenwegfuhr Tonminerale der Kaolinitgruppe; in Wannen mit seitlicher Basenzufuhr und gehemmter Basenwegfuhr können sich solche der Montmorillonitgruppe bilden.

4. Charakteristisch für den verschiedenen Verwitterungsablauf ist das Verhalten der Kieselsäure, der Erdalkalien und der Alkalien. Tab. 11.

BIBLIOGRAPHIE

- BAUER, M. (1898): Beiträge zur Geologie der Seyschellen, insbesondere zur Kenntnis des Laterites. N. Jahrb. f. Min.
- BLANCK, E. (1930): Handbuch der Bodenlehre, Bd. III. Berlin.
- (1932): Verwitterungs- und Umwandlungerscheinungen an süd hannoverschen Basaltvorkommen. Chemie der Erde.
- (1949): Einführung in die genetische Bodenlehre. Göttingen.
- BLANCK, CREDNER und OLDERSHAUSEN (1934/35): Beiträge zur chemischen Verwitterung und Bodenbildung in Siam. Chemie der Erde.
- BLANCK, PASSARG und RIESER (1926): Über Krustenböden und Krustenbildung, wie auch Roterden, insbesondere ein Beitrag zur Kenntnis der Bodenbildung in Palästina. Chemie der Erde.
- DEMOLON und AUBERT (1953): Über die Produktionsfähigkeit der Böden im äquatorialen und tropischen Afrika. Kali-Briefe 4/8.
- GLINKA K. (1914): Die Typen der Bodenbildung. Berlin.
- JAKOB J. (1945): Der chemische Aufbau unseres Planeten. Zürich.
- MEIGEN, W., Laterit. Geol. Rundschau 1911.
- NIGGLI, P. (1926): Die chemische Gesteinsverwitterung in der Schweiz. Schweiz. Min. u. Petr. Mitt. V/2.
- (1951): Gesteinschemismus und Magmalehre. Geol. Rundschau.
- REIFENBERG and EWBANCK (1939): Investigation of soil profiles from Cyprus. The Imp. Journ. of Exp. Agriculture I.
- SCHAUFELBERGER, P. (1950): Wie verläuft die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung in den Tropen, insbesondere in Kolumbien? Schweiz. Min. u. Petr. Mitt. 30/2.
- (1951): La arcilla de los suelos tropicales. Bol. Técnico I/5.
- (1953): Die nicht zonalen Bodentypen des tropischen Kolumbiens. Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. Zürich 97.
- (1953a): Was ist Laterit? Geochimica et Cosmochimica Acta 3.
- VAN DER MERWE and HEYSTEK (1952): Clay minerals of South African soil groups: I. Laterites and related soils. Soil Sc. 74/5.
- VENEMA, K. C. W. (1951): Ölpalmkultur und Ölpalmböden in Indonesien. Kali-Briefe 27/3 und 27/4.

Eingegangen: 26. Mai 1954.