Tonbildung in tropischen Böden

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

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **35 (1955)**

Heft 1

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-27846

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Tonbildung in tropischen Böden

Von *P. Schaufelberger* (Chinchiná, Columbia)

Einleitung

In früheren Aufsätzen (SCHAUFELBERGER, 1950, 1953b) konnte gezeigt werden, wie der Chemismus der Verwitterung in den Böden mit normaler Drainage einmal vom Muttergestein und dann auch vom Klima bedingt ist. Im letzteren Falle ändern sich mit den Regenfaktoren die Auswaschungsfaktoren. Nun soll versucht werden zu zeigen, welches die Verwitterungsprodukte, d. h. die Tone sind, die sich bei diesen Prozessen in den Tropenböden bilden.

Wir dürfen als bekannt voraussetzen, daß die wichtigsten Tone in den Böden und ihre Gitter bekannt sind, so daß wir uns eine Wiederholung dieser Beschreibungen ersparen. Wir unterscheiden heute:

1. *Glimmergruppe:* Muskowit (Sericit), Biotit usw., sowie ihre Abbauprodukte:

   Biotit — Chlorit — Vermikulit — Kaolinit
   Muskowit — Illit — Kaolinit

Hier handelt es sich bei der Tonbildung offenbar um einen Gitterabbau mit dem Endprodukt Kaolinit. Das Vorkommen dieser Mineralien in Böden dürfte daher durch das Muttergestein bestimmt sein.

2. *Montmorillonitgruppe:* Montmorillonit, Beidellit, Nontronit usw.

3. *Kaolinitgruppe:* Kaolinit, Halloysit, Metahalloysit usw.

Über das Vorkommen dieser Tonmineralien berichten RANKAMA und SAHAMA (1954). Nach diesen Autoren ist der Illit das häufigste Tonmineral in rezenten marinen Sedimenten. Etwas weniger häufig ist in ihnen der Kaolinit, während der Montmorillonit nur eine untergeordnete Rolle spielt. In tonigen Sedimenten überwiegen ebenfalls Illit und Kaoli-

nit; Montmorillonit und Halloysit kommen nur als Nebenkomponenten vor. Im allgemeinen trifft man häufig Illit in Tonschiefern, Gletscherton und Löss, während Montmorillonit häufiger in Verwitterungsprodukten vulkanischer Aschen festgestellt worden ist. Die Autoren halten den Kaolinit für den beständigsten Ton. Sie erwähnen ferner die Bildung dieser Tone bei hydrothermaler Gesteinsmetamorphose und je nach dem p_H-Wert der Lösung bildet sich dann diese oder jene Tongruppe.

RANKAMA und SAHAMA bringen die Bildung der einzelnen Tonmineralien in Zusammenhang mit der Verwitterung der Komponenten der Ursprungsgesteine. Bei gleichzeitiger Zersetzung der Eisenmagnesiumsilikate und der Feldspäte werden zwei- und dreiwertiges Eisen, Aluminium und Kieselsäure in Freiheit gesetzt und es bildet sich Montmorillonit oder Beidellit. Verwittern aber zuerst die Eisenmagnesiumsilikate, dann werden Mg- und Fe-Ionen löslich und verfrachtet oder das Eisen wird ausgefällt und oxydiert. Bei der nachfolgenden Feldspatverwitterung fehlen dann Mg- und Fe-Ionen und es entsteht Kaolinit. Ferner heben RANKAMA und SAHAMA hervor, dass sich Kaolinit bei Auslaugung und vollständiger Verwitterung bilde, während bei gehemmter Wasserversickerung und ungenügender Oxydation die Montmorillonitbildung bevorzugt werde.

Kaolinit bildet sich bei Vorgängen der Oxydation und Reduktion der Gesteinszersetzung, wie auch bei Anwesenheit von organischer Substanz. Wichtig ist dabei, dass Magnesium, Kalzium, Alkalien und das zweiwertige Eisen durch die Lösung entfernt werden. Bei ungenügender Lixiviation dieser Metalle ist Montmorillonitbildung zu erwarten. Sie halten die Montmorillonitbildung auch im salzigen Meerwasser für möglich.

Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass sich Tone der Kaolinit- und Montmorillonitgruppe auch durch geologische Vorgänge bilden können und in Gesteinen vorkommen. Man wird also diese Minerale dann in Böden erwarten müssen, wenn sie im Muttergestein vorhanden sind, und ihr Vorkommen in gewissen Bodentypen ist also kein unbedingter Beweis, dass sie sich erst im Boden selbst gebildet haben. Diese Tatsache müssen wir uns vor Augen halten, wenn im selben Boden neben Kaolinit auch Montmorillonit oder Hydrargillit in wesentlichen Mengen angetroffen wird. Man wird dann feststellen müssen, welche Tone schon im Muttergestein vorhanden sind und welche sich erst im Boden neugebildet haben.

Über die Tonbildung in Böden schreibt H. DEUEL (1950): „Früher nahm man meistens an, dass die Mineralien des Muttergesteins zunächst zu amorphen, kolloiden Oxyhydraten des Siliziums, Aluminiums usw.

abgebaut werden. Durch gegenseitige ungeordnete Flockung zwischen positiven und negativen Teilchen sollte es dann zur Tonbildung kommen. ... Dies mag für die Allophantone gelten. Der Übergang eines solchen Mischgels in Tonmineralien erscheint schwer verständlich; es wäre dazu nach C. W. CORRENS eine bedeutende Aktivisierungsenergie notwendig. — C. W. CORRENS, S. HENIN und andere vertreten die Ansicht, dass das Ausgangsmaterial zunächst zu den löslichen Ionen abgebaut wird. Die gelösten Ionen lagern sich dann zu Schichtverbänden der Tonmineralien zusammen. Bei Orthosilikaten und Feldspäten, deren Gitterbau von den Tonmineralien völlig verschieden ist, ist der Verwitterungsvorgang auf diesem Wege am leichtesten zu verstehen. Dabei mag die Kristallisation an geeigneten Gitterresten eine Rolle spielen."

Ist man sich über den Abbau der Minerale des Muttergesteins ziemlich einig, so bestehen noch Unterschiede in der Auffassung über die Bedingungen, die zum Aufbau der Tone der Kaolinit- und der Montmorillonitgruppe führen. H. DEUEL (1950) schreibt über die Bildung dieser Tone und ihr Vorkommen in verschiedenen Böden: „So wurde oft festgestellt, dass in stark ausgelaugten, gut drainierten, sauren Böden bevorzugt Kaolinit anzutreffen ist. Unter weniger humiden Bedingungen in neutralen bis schwach alkalischen Böden trifft man eher Montmorillonit an. J. S. HOSKING beobachtete in Australien auf Basalt in regenreichen Gegenden Böden mit Kaolinit, in regenärmeren mit Montmorillonit. G. NAGELSCHMIDT, A. D. DESAI und A. MUIR stellten Untersuchungen an Böden in Hyderabad, Indien, an. Diese Böden waren aus dem gleichen Muttergestein Granit-Gneis und in gleichem Klima gebildet worden. Die ausgelaugten Kuppen- und Hangböden enthalten vor allem Kaolinit, die schlecht drainierten Böden der Ebene sind alkalischer und enthalten Montmorillonit. Ähnliche Ergebnisse wurden in Indonesien von H. J. HARDON und J. C. L. FAVEJE und C. H. EDELMANN erhalten. Milder Humus scheint auf den Montmorillonit stabilisierend zu wirken. Im Mississippital erwiesen sich die dunklen Graslandböden als reicher an Montmorillonit als die sauren Waldböden. In Schwarzerde kommt neben Illit und Kaolinit vor allem Montmorillonit vor. Halloysit ist in Roterden verbreitet."

E. MUECKENHAUSEN (1953) äussert sich zur Tonbildung folgendermassen: „W. L. KUBIENA berichtet, dass die Tonmineralbestimmung von Rotlehm aus dem Anglo-ägyptischen Sudan und aus Portugiesisch-Ostafrika nur Kaolinit, von Rotlehm von der Ostküste Sumatras überwiegend Metahalloysit und von mediterranem Rotlehm auf Kalkstein teilweise Metahalloysit und teilweise auch ein glimmerhaltiges Tonmineral

ergab. Dagegen fand sich im mittelländischen Kalksteinbraunlehm teils ein glimmerartiges Tonmineral mit Metahalloysit, teils aber auch mehr oder weniger reiner Montmorillonit."

H. E. STREMME (1954) bringt die Tonbildung in Zusammenhang mit den Bodentypen: „Das Vorkommen der einzelnen Tonminerale in den Böden steht nach Dr. H. E. STREMME, Kiel, im Zusammenhang mit den bodenbildenden Vorgängen. In den verschiedenen Bodentypen können daher bestimmte charakteristische Tonminerale erwartet werden. In den Schwarzerden, überhaupt in den Steppenbodentypen, sind bisher übereinstimmend Montmorillonite als charakteristische Tonminerale bestimmt worden. Das gilt sowohl im gemässigten Klima als auch in den tropischen Klimaten. Im gemässigten Klima treten auf Steppenböden neben Montmorillonit auch Illite auf. Für die braunen Waldböden sind Illite als Haupttonminerale bezeichnend; speziell sind eisenreiche Illite (Eisenillite) nachgewiesen worden, die als färbende Bestandteile eine Rolle spielen. In den A-Horizonten der braunen Waldböden scheint auch Kaolinit als Neubildung und charakteristischer Bestandteil enthalten zu sein. Aber auch in podsoligen und podsolierten Waldböden sind Illite und Kaolinite nach STREMME in grossem Umfange vertreten."

Sehr klar umschreibt K. C. W. VENEMA (briefliche Mitteilung in SCHAUFELBERGER 1953a) die Bedingungen zur Bildung der Tone der Montmorillonitgruppe: „Sobald aber durch irgend eine Urscahe, wie z. B. in einem Tale zwischen Hügeln, eine Basenzufuhr von der eluvialen Verwitterung höher gelegenen Stellen stattfindet, während die Basenwegfuhr gehemmt ist, so wird die dortige Verwitterung illuvial, also azonal im Sinne STEBUTTS, und über 20 bis 25° C liegt dann die Möglichkeit vor, dass sich Montmorillonit bildet, wie in Indonesien und in Indien, oder Beidellit, wie in Kenya und Abessinien beobachtet."

Nach VENEMA wären in Böden mit freier Basenwegfuhr, also in drainierten oder eluvialen, Tone der Kaolinitgruppe zu erwarten, während in Wannenböden bei seitlicher Basenzufuhr und gehemmter Basenwegfuhr sich solche der Montmorillonitgruppe bilden können. Wannen und gehemmte Basenwegfuhr allein genügen nicht; denn bei sehr basenarmen Muttergesteinen bilden sich bei genügend Wasser saure Sümpfe und Moore. In diesen Böden hat man die Kaolinitbildung festgestellt.

Jedenfalls sind die verschiedenen Autoren einig, dass die Tonneubildung irgendwie im Zusammenhang mit dem Bodentyp steht. Aber welches sind nun die Bodentypen der Tropen? Jedenfalls sind Roterden, Rotlehme, Gelberden, Gelblehme, Schwarzerden usw. keine einheitlichen Bodentypen mit gemeinsamen, wesentlichen Eigenschaften.

DIE TROPISCHEN BODENTYPEN

Die in Kolumbien gefundenen Bodentypen sind an anderer Stelle beschrieben (SCHAUFELBERGER 1952, 1953b). Hier sei nur betont, dass diese Bodentypen sich auch nach den Grundsätzen des Vorschlages PALLMANNS (1947) klassieren liessen. Allerdings erwiesen sich einige Modifikationen und Ergänzungen als zweckmässig (SCHAUFELBERGER 1954).

Nach dem modifizierten System PALLMANN kann man bis heute folgende definierte Bodentypen unterscheiden, wobei allerdings bemerkt werden soll, dass die Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

I. Böden mit freier Basenwegfuhr

A. Normaldrainierte, endoperkolative Böden: 1. Caliboden, 2. Quindíoboden, 3. Kaktusboden, 4. Bambusboden, 5. Humusboden, 6. Waldboden und 7. Urwaldboden.

B. Gehemmt drainierte, peri-endoperkolative Böden: 8. Calisavannenboden, 9. Quindíosavannenboden, 10. Kaktussavannenboden, 11. Bambussavannenboden, 12. Humussavannenboden, 13. Waldsavannenboden und 14. Urwaldsavannenboden.

C. Amphiperkolative Böden mit periodisch wechselnder Perkolationsrichtung. 15. Alkaliböden und 16. Regur.

II. Wannenböden mit gehemmter Basenwegfuhr

D. Exoperkolative Böden mit periodisch wechselnder Perkolationsrichtung. 16. Salzböden.

E. Feuchtere, bis zeitweise vernässte oder überschwemmte periexoperkolative Böden: 17. Wannennassböden, 18. Wannentschernoseme und 19. Salznassböden.

F. Vernässte, periperkolative Böden: 20. Salzsumpf, 21. mineralisches Niedermoor, 22. organo-mineralisches Niedermoor, 23. organisches Niedermoor, 24. saurer Sumpf, 25. saures Moor und 26. Hochmoor.

Zur Unterscheidung der amphiperkolativen Alkaliböden und Regurs von den exoperkolativen Salzböden dient das Verhältnis S : T. Ist dieses grösser als 1, so handelt es sich um Salzböden. Das ist auch der Fall für Salznassböden und Salzsümpfe. Durch dieses Kennzeichen lassen sich leicht die Alkaliböden von den Salzböden trennen, wie ein Beispiel aus Puerto Rico zeigen mag (BONNET 1953). Nach den S- und T-Werten finden wir bei den Böden der Aguirre-Clay-Serie folgende Alkali- und Salzböden.

Aguirre-Clay-Serie

Alkaliböden (S≷T)			Salzböden (S>T)		
Nr.	S MAe/100 g	T MAe/100 g	Nr.	S MAe/100 g	T MAe/100 g
149	40,58	50,4	140	80,30	43,8
150	37,77	45,0	141	84,19	28,0
151	34,92	45,8	143	88,25	60,2
153	54,40	54,4	144	61,46	58,2
			152	60,69	60,3
			154	61,37	48,2

Nach VENEMA sollte sich Montmorillonit usw. in Wannen mit seitlicher Basenzufuhr bilden. Diese Bedingung erfüllen zweifellos: 16. Salzböden, 19. Salznassböden und 20. Salzsümpfe. Weiter kommen in Frage: 17. Wannennassböden und 18. Wannentschernoseme. Diese Böden werden auch als anmoorig, oft als Schwarzerden oder Tschernosem bezeichnet. Schliesslich könnten sich diese Tonminerale auch in Alkaliböden in Wannen bilden. Ob in den Niedermooren die Basenkonzentration hoch genug ist, um zur Montmorillonitbildung zu führen, wissen wir nicht.

Welches sind nun die Kennzeichen der basenreichen Wannenböden? Ganz sicher sind sie reich bis überreich an austauschbaren Basen. Die Bodenreaktion dürfte im allgemeinen neutral bis sehr basisch sein, doch scheint es auch Ausnahmen zu geben. Sie können humusarm bis humusreich sein; da dieser mit Basen abgesättigt ist, dürfte es sich um sogenannten milden Humus handeln. Diese Böden werden daher oft auch als Schwarzerden bezeichnet: black alkali soils, black cotton soils, Tschernosem, Tirs, Regur usw.

In den übrigen Bodentypen dagegen wären Tone der Kaolinitgruppe zu erwarten.

Wir wollen nun versuchen, ob es möglich ist, bei Tonuntersuchungen tropischer Böden den Bodentyp festzustellen. Vielleicht lässt sich auf diese Weise feststellen, wann diese oder jene Tongruppe sich entwickelt.

Kaolinitbildung

L. A. DEAN (1947) untersuchte Tone verschiedener Böden von Hawaii und bringt ihre wechselnde Kaolinmenge mit der Regenmenge in Verbindung. Tab. 1.

Tabelle 1. *Kaolinvorkommen in Böden von Hawaii*

Ort	Muttergestein	Regenmenge in Zoll	Kaolin %
Aiea, Oahu	verwitterter Basalt	50	63
Ewa	verwitterter Basalt	20	57
Poamoho	verwitterter Basalt	45	45
Weimamalo	verwitterter Basalt	90	31
Nuuanu	verwitterter Basalt	90	21
Halemanu	verwitterter Basalt	80	20
Makiki	Alluvium	30	17
Pensacola	vulkanische Asche	30	17
Paauhu, Hawaii	verwitterter Basalt	65	14
Aiea, Oahu	vulkanische Asche	75	12
Kona, Hawaii	Aa-Lava	70	10
Hilo	vulkanische Asche	165	7
Naalehu, Hawaii	vulkanische Asche	45	unter 5
South Point	äolische Sedimente	15	unter 5
Honomu	vulkanische Asche	250	unter 5
Haapape, Tahiti	vulkanische Asche	65	unter 5
Kaiwiki, Hawaii	vulkanische Asche	115	unter 5
Kilauea	verwitterter Basalt	65	unter 5
Tantalus, Oahu	vulkanische Asche	100	unter 5
Hamakua, Hawaii	vulkanische Asche	120	unter 5
Olaa	Aa-Lava	170	unter 5

Hier finden wir die Kaolinbildung auf meist basischen Muttergesteinen vom ariden bis zum perhumiden Klima. Wenn nun in Australien auf Basalt in regenreichen Gebieten Kaolin, in trockenen dagegen Montmorillonit festgestellt worden ist, so kann das Klima allein kaum für die verschiedene Tonbildung verantwortlich gemacht werden. Zur Montmorillonitbildung dürften also neben dem ariden Klima noch Bodenverhältnisse eine Rolle spielen, die in Hawaii die Tonbildung nicht beeinflussten. Auch wissen wir heute, dass es in allen Klimaten normal drainierte Böden gibt.

T. Alvira Alvira (1949) verdanken wir Tonuntersuchungen von Böden aus Spanisch-Marokko. Da er von den beschriebenen Böden Angaben über Regenmengen, Bodenreaktion, Basenkapazität und organischer Substanz macht, so lassen sich seine Böden einigermassen den Bodentypen zuteilen. Alvira Alvira fand in folgenden Böden Kaolinit:

Tabelle 2. *Kaolinit in Böden von Marokko*

Regenfaktor	p_H	T MAe/100 g	Org. Substanz %	Boden	Bodentyp
?	5,97	18,78	2,82	laterítico	Caliboden? Kaktusboden?
17	6,06	17,92	2,17	Podsol	Caliboden? Kaktusboden?
40	7,72	20,22		podsólico	Caliboden? Kaktusboden?
74	6,40	58,33	15,53	terra rossa	Quindíoboden
40		22,17		terra rossa	Caliboden oder Quindíoboden
44	6,44	58,33	6,44	terra rossa	Quindíoboden
154	6,44	59,49	5,17	podsólico	Quindíoboden

Es handelt sich offenbar um normal drainierte Böden mit freier Basenwegfuhr, und die Kaolinitbildung steht daher in Verbindung mit eluvialer Bodenbildung.

SCHAUFELBERGER (1951) untersuchte die Tone kolumbianischer Bodentypen verschiedener Klimate und fand in der Tonfraktion dieser drainierten Böden folgende Mineralien:

Tabelle 3. *Mineralien in Tonen kolumbianischer Böden*

Klima, Ort	Kaolinit	Hydrargillit	Quarz	Goethit	Glimmer	Calcit
Perhumid						
Buenaventura	+	+	+	+	+	–
Cali-Dagua	+	+	+	+	+	–
Humid						
Cali-Bosque	+	+	+	+	+	–
Semihumid						
Chinchiná	+	+	+	+	+	–
Semiarid						
Cali	+	+	+	+	–	+
Arid						
Sahagún	+	+	+	+	–	+
Cartagena	+	+	+	+	+	+

Die Hydrargillitlinien sind sehr schwach, die Kaolinitlinien sehr stark.

VAN DER MERWE und HEYSTEK (1952) berichten über Tonuntersuchungen von Böden aus Südafrika und stellten Kaolinitbildung in nachstehenden Böden fest:

Tabelle 4. *Kaolinit in südafrikanischen Böden*

Boden, Ort	Muttergestein	Regenmenge Zoll	Tiefe Zoll	S MAe/100 g	Bemerkungen
Lateritic red earth					
Krugersdorp	Diabas	127	6—22	—	
Johannesburg	Granit	29	30—60	3,2	
Louis Trichardt	Sandstein	35	0—10	5,2	
Wolkberg	Back-Reef-Serie	45	48—60	1,6	
Louwsberg	Dolerit	32	12—30	6,6	
Tzaneen	Granit	38	6—10	6,8	+ Hydrargillit
Mbabane	Granit	45	48—84	3,2	+ Hydrargillit
Lateritic yellow earth					
Bulwer	Sandstein	42	24—38	4,0	nur Hydrargillit
Taylor's Halt	Dolerit	42	24—43	4,6	+ Hydrargillit
Jessievale	Granit	34	1— 4	4,4	+ Hydrargillit
Gray ferruginous lateritic soils					
Letaba Station	Granit	30	4—12	3,0	
Pyramid	Sandstein	26	24—32	1,3	
Klipkop	Granit	22	18—32	7,6	
Brown to reddish brown ferruginous lateritic soils					
Middelwit	Dolomit	22	0— 6	18,4	
Ventersdorf	Dolomit	24	0— 6	4,1	
Marikana 1	Diabas	26	0—10	13,8	
Ermelo	Sandstein	33	20—36	3,4	+ Hydrargillit

Mit Ausnahme des Bodens von Krugersdorp handelt es sich um Böden trockenen Klimas, und der geringe Gehalt an austauschbaren Basen lässt normal drainierte Kaktus- und Bambusböden vermuten. Basenreich sind einzig die Böden von Middelwit (Dolomit) und Marikana (Diabas) auf basenreichen Muttergesteinen, die Caliböden entsprechen dürften. In diesem trockenen Klima wurde die Kaolinitbildung auf verschiedenen Muttergesteinen festgestellt.

In der „lateritic yellow earth" von Bulwer wurde nur Hydrargillit beobachtet, so dass es sich um Laterit handeln muss, der offenbar Muttergestein ist. Laterit kommt also in Südafrika vor und er könnte daher sehr wohl auch Muttergestein weiterer Böden sein. So wurde Hydrargillit beispielsweise neben Kaolinit in folgenden Böden gefunden: „lateritic red earth" von Tzaneen und Mbabane, „lateritic yellow earth" von Taylor's Halt und Jessievale und „brown to reddish brown ferruginous lateritic soil" von Ermelo. Das Vorkommen von Hydrargillit und Kaolinit

im selben Boden liesse sich dann so erklären: der Hydrargillit ist Mineral des Muttergesteins — seine Bildung muss also geologisch bedingt sein — und der Kaolinit hat sich im Boden auf Laterit gebildet. Die Hydrargillitbildung wäre dann zeitlich der Kaolinitbildung vorausgegangen.

Sehr aufschlussreich sind auch folgende zwei Böden, die als Laterit bezeichnet sind und einen Gehalt von 6% organischer Substanz aufweisen.

Ort	Muttergestein	Regenmenge Zoll	Tiefe Zoll	S MAe/100 g	Tonminerale
Sabie I	Dolomit	48	24—28	—	Hydrargillit + Kaolinit
Sabie II	Dolomit	48	36—48	1,0	Hydrargillit + Kaolinit

Der humusreiche Oberboden zeigt eine Mächtigkeit von 9—12 Zoll, und das „parent material" wird folgendermassen beschrieben: „dull reddish brown to reddish red, crumbly clay, many feet thick."

Auf Dolomit haben sich in Südafrika auch die „brown to reddish brown ferruginous lateritic soils" von Middelwit und Ventersdorp (Tab. 4) gebildet. Hier hat sich hauptsächlich Kaolinit gebildet und ihre Kennzeichen weichen wesentlich von denen der Sabie-Böden ab, so dass es sich tatsächlich um verschiedene Bodentypen handeln muss. Die Sabie-Böden haben sich offenbar in semiaridem Klima gebildet. Der hohe Humusgehalt und die Basenarmut lassen einen sauren Sumpfboden vermuten. Dieser kann sich aber nur in einer Wanne mit undurchlässigem Untergrund und basenarmem Muttergestein entwickeln. Diese Bedingungen erfüllt der Dolomit aber nicht, wohl aber der Laterit. Auf diesen trifft auch die Beschreibung des „parent material" zu. Laterit muss daher das Muttergestein der Sabie-Böden sein, und der Kaolinit hat sich dann offenbar im Boden gebildet. Auch hier dürften Hydrargillit und Kaolinit sich zeitlich nacheinander gebildet haben.

Auch Ciallere und Henin (1953) fanden bei ihren mineralogischen Untersuchungen von Lateriten neben Hydrargillit ebenfalls Kaolinit. Tab. 5.

Tabelle 5. *Tonmineralien in Laterit*

	Gabbrolaterit	Dioritlaterit
Frisches Gestein	9,5%	2,5%
Kaolinit	15,5%	15,5%
Hydrargillit	33 %	16,5%
Goethit	34 %	34,4%
Quarz	— %	10,5%
Kolloidales Al	— %	11,5%
Ilmenit	5 %	2,4%

Tonuntersuchungen von Böden Puerto Ricos liegen von JEFERIE, BONNET und ABRUÑA (1953) vor. Sie stellten Kaolinitbildung in folgenden Oberböden fest:

Tabelle 6. *Kaolinitbildung in Böden von Puerto Rico*

Great soil group	Soil type	Tiefe Zoll	Tongehalt %	S MAe/100 g	Bemerkungen
Reddish prairie	Mabí clay	0—10	24,25	31,17	
	Paso Seco silty	10—18	22,70	16,18	+Illit
Alluvial	San Antón loam	0—24	20,50	23,74	+Illit
Reddish chestnut	Santa Isabel clay	0— 8	22,75	22,02	+Illit
Lithosol	Pandura sandy clay loam	0—12	6,45	8,16	+Illit
Gray-brown podzolic	Las Piedras clay loam	0—20	15,50	7,06	
	Humaco loam	0—24	14,70	11,39	
	Teja loam	0—12	12,35	8,21	
Alluvial	Vivi sandy loam	0—15	14,40	7,70	
Gray-brown podzolic	Utuado loam	0—24	11,35	5,22	
Red-and-yellow podzolic	Lares clay	0—60	35,25	16,54	
Reddish-brown lateritic	Matanza clay	Oberfläche	60,50	7,12	
Yellow-brown lateritic	Coto clay	Oberfläche	23,00	7,70	
Red-and-yellow podzolic	Los Guineos clay	0—24	3,70	3,70	
Reddish-brown lateritic	Río Piedras clay	Oberfläche	62,17	15,11	
Ground-water lateritic	Sabana Seca sandy clay	0—12	21,50	7,11	

NB. In tiefern Lagen einzelner Böden wurde neben Kaolinit auch Beidellit festgestellt.

Neuerdings untersuchte F. F. F. E. VAN RUMMELEN (1954 a und b) Tone indonesischer Böden und fand in ihnen folgende Tonminerale:

Tabelle 7. *Tonminerale in Böden von Indonesien*

Nr.	Kaolinitgruppe	Montmorillonitgruppe	Hydrargillit	p_H
794	+ + +	+ ?	+	4,3
745	+ + +	+ + +	+	
793	+ + +			4,8
763	+ + +	+ + +		
796	+ + +		+	4,4
800	+ + +	+ + +	+	4,5
805	+ + +	+ ?	+	5,12
795	+ + +			4,7
786	+ + +		+	4,2
801	+ + +	+ ?		

Nr.	Kaolinitgruppe	Montmorillonitgruppe	Hydrargillit	p_H
797	+ + +	+ + +	+	5,1
802	+ + +		+	
819	+ + +			
821	+ +	+ +	+	4,3
831	+ + +			7,58
833	+ + +			
832	+	+ +	+	
858	+ +		+	5,20
860	+	+ +		5,65

Mit Ausnahme eines Bodens sind alle sauer bis sehr sauer, so dass wir wohl annehmen dürfen, dass es sich um eluviale Bodenbildungen handelt. In den meisten Böden finden wir ausgesprochene Bildung von Tonen der Kaolinitgruppe und geringe Mengen von Hydrargillit, wie in den Böden Kolumbiens (Tab. 3). Da man annimmt, dass gewisse Mineralien bis zu den löslichen Ionen abgebaut werden, kann seine Anwesenheit nicht überraschen, und auch in afrikanischen Böden hat man ihn in geringer Menge häufig festgestellt.

In verschiedenen Böden fand man z. T. wesentliche Mengen von Tonen der Montmorillonitgruppe, ähnlich wie in tiefern Horizonten in verschiedenen Böden in Puerto Rico. Auch hier werden sich die Tone der beiden Gruppen kaum nebeneinander, sondern eher zeitlich verschieden gebildet haben. Es ist auch durchaus möglich, dass die Tone der Montmorillonitgruppe sich anderswo gebildet haben, dann durch geologische Vorgänge verfrachtet wurden und nun im neuen Boden als Minerale des Muttergesteins auftreten. Der Fall liegt also ähnlich wie beim Auftreten von wesentlichen Mengen von Hydrargillit in südafrikanischen Böden mit primärem oder sekundärem Laterit als Muttergestein. Wesentlich dürfte in all diesen eluvialen Böden die Neubildung von Tonen der Kaolinitgruppe sein. In solchen Fällen wird das Vorkommen der einen Tongruppe geologisch zu erklären sein, und nur die Tonneubildungen sind auf bodenkundliche Vorgänge zurückzuführen.

Tonbildung der Montmorillonitgruppe

Alvira Alvira (1949) fand Montmorillonit in nachstehenden Böden von Spanisch-Marokko:

Tabelle 8. *Montmorillonit in Böden von Spanisch-Marokko*

Regen-faktor	p_H	T (MAe/100 g)	Org. Subst. (%)	Boden	Bodentyp
30—56	6,28	42,82		tirs	Salznassboden?
?	7,30	23,13	4,25	salino	Salzboden
44	7,22	45,03		tierra parda	Wannentschernosem?
32	7,74	45,41			Salzboden
?	8,36	41,16	1,77	calizo-desiértico	Salzboden? Wannen-tschernosem?
?	7,04	32,62	2,08	calizo-desiértico	Salzboden?

Hier kann kein Zweifel bestehen, dass der Montmorillonit in Wannen mit seitlicher Basenzufuhr sich gebildet hat. Die Bodenreaktion ist in der Regel basisch bis sehr basisch und austauschbare Basen sind reichlich vorhanden.

Die Montmorillonitbildung in schlecht drainierten Wannen bestätigen ebenfalls die Untersuchungen von Van der Merwe und Heystek (1952) aus Südafrika. Sie analysierten zwei benachbarte Böden des ariden Klimas auf Diabas und stellten folgenden Unterschied fest:

Boden	si : al	S (MAe/100 g)	Tonmineral
Marikana I	2,06	13,8	Kaolinit
Marikana II	5,59	52,2	Montmorillonit

Der „brown to reddish brown ferruginous lateritic soil" Marikana I zeigt eluviale Verwitterung und dürfte einem Kaktus- oder Caliboden entsprechen. Er liegt offenbar etwas höher und die ausgelaugten Basen gelangen in den tiefer liegenden, ungenügend drainierten Boden Marikana II, wo sich die Basen anreichern, wie der hohe Gehalt an austauschbaren Basen zeigt, so dass sich Montmorillonit bildet.

Hier haben wir im gleichen Klima und bei gleichem Muttergestein an der höher gelegenen Stelle eluviale Verwitterung und in der Wanne selber Basenanreicherung und Montmorillonitbildung. Wir haben also offenbar ähnliche Verhältnisse wie in Indien, wo in gleichem Klima auf Gneis-Granit in den ausgelaugten Hang- und Kuppenböden Kaolinit, in der Ebene in Wannen mit ungenügender Drainage und bei basischer Reaktion Montmorillonit festgestellt worden ist.

Miller und Coleman (1952) fanden bei ihren Untersuchungen südamerikanischer Böden Montmorillonit in einigen Böden von Ecuador. Tab. 9.

Tabelle 9. *Montmorillonitbildung in ecuadorianischen Böden*

Boden	S (MAe/ 100 g)	T (MAe/ 100 g)	Mont- morillonit	Kaolinit	Org. Substanz (%)
Gray non calcareous	38,60	40	+ +	0	2,1
Gray non calcareous	28,4	42,6	+ +	0	2,5
Gray non calcareous	44,48	47,0	+ +	0	0,5
Dark gray calcic	43,37	42,0	+ + +	+	1,1
Dark gray calcic	44,48	42,6	+ +	0	5,6
Moist Sierran	15,48	20,2	+ +	0	1,5

In zwei Fällen ist S grösser als T, so dass wir ebenfalls Salzböden vermuten dürfen; in andern nähert sich S der Sorptionskapazität T. Diese Böden wären als Alkaliböden zu klassieren. Sie können ebenfalls in Wannen liegen, wo in frischen Sedimenten die Bodenbildung mit dem Kaktus- oder Caliboden beginnt, der humus- und basenreicher wird und allmählich in den Alkaliboden übergeht und schliesslich versalzt. Im Kaktusboden bildet sich Kaolinit und erst später, bei höherem Basengehalt, Montmorillonit oder Beidellit. In solchen Wannen können daher Kaolinit und Montmorillonit nebeneinander vorkommen, wie das auch in einem Falle beobachtet worden ist; aber sie haben sich offenbar nacheinander gebildet.

Werden solche Wannen entwässert, so degradieren bekanntlich die Salzböden zum normal drainierten Soloti (als degradierter Solonetz-Natronsalzboden definiert), der ein Kaktusboden ist. Dieses Entwässern oder Absenken des Grundwasserspiegels kann durch die rückschreitende Erosion erfolgen, die solche Wannen anzapft und drainiert. Leicht kann

Tabelle 10. *Montmorillonit und Beidellit in Böden von Puerto Rico*

Great soil group	Soil type	Tiefe Zoll	Ton- gehalt %	S MAe/100g	Bemer- kungen
Reddish brown	Jácana clay	B-Horizont	23,80	26,11	+ Kaolinit
Gray-brown podzolic	Múcara silty clay loam	0—10	24,55	36,04	
Reddish chestnut	Fraternidad clay	0— 7	28,40	21,03	
Alluvial	Aguirre clay	0—10	30,26	42,06	
Wiesenboden	Guánica clay	Unterboden	41,80	39,56	
Gray-brown podzolic	Juncos clay	15—18	26,35	58,32	+ Kaolinit
	Juncos clay	0— 8	33,05	51,64	+ Kaolinit
Rendzina	Soller clay	0—18	53,80	63,53	
Red-and-yellow podzolic	Cabo Rojo clay	0—24	26,35	14,08	

es dann später zu einem Ausräumen kommen, und die Sedimente werden, einschliesslich dem Montmorillonit, verfrachtet und abgelagert. Es kann daher nicht überraschen, wenn wir dieses Tonmineral oft in Alluvionen und Sedimenten antreffen.

Auch in Puerto Rico fanden JEFERIE, BONNET und ABRUÑA (1953) Montmorillonit und Beidellit in verschiedenen Böden. Tab. 10.

Diese Autoren betonen, dass die Minerale der Montmorillonitgruppe sich im allgemeinen in Böden mit höherem Gehalt an austauschbaren Basen bilden, während diejenigen der Kaolinitgruppe in solchen mit niederem Basengehalt. Sie geben folgende Mittelwerte für das Vorkommen der einzelnen Tone an:

Anzahl der Proben	Tongehalt %	S MAe/100 g	Tonmineral
42	26,57	10,07	Kaolinit
20	29,96	31,41	Beidellit
3	35,30	48,00	Montmorillonit

Wie wir bereits durch BONNET (1953) erfahren, umfasst der oben genannte soil type der Aguirre clay Alkali- und Salzböden. In derselben Arbeit sind auch Böden des Fraternidad clay und des Guánica clays beschrieben. Sie zeigen folgenden Basengehalt:

soil type	T MAe/100 g	S MAe/100 g
Fraternidad clay	23,8	43,27
Guánica clay	51,4	59,51

Diese beiden Böden sind also ebenfalls als Salzböden zu klassieren. In Puerto Rico hat sich also sicher ein Teil der Tone der Montmorillonitgruppe in Salzböden gebildet. Die übrigen Böden sind ebenfalls reich an austauschbaren Basen; es dürfte sich auch in diesen Fällen um Wannenböden mit Alkali- oder Salzböden handeln.

Zusammenfassung

Man kennt die Bildung der Tone der Montmorillonitgruppe aus Wannen mit seitlicher Basenzufuhr und gehemmter Basenwegfuhr aus Indien, Indonesien, Abessinien, Kenya, Brasilien usw. In Australien hat man diese Tone auf Basalt in regenarmen Gegenden gefunden, wo solche Wannenböden durchaus denkbar sind. In Spanisch-Marokko hat man

sie ebenfalls in Wannen und teilweise in Salzböden festgestellt, ebenso in Ecuador, Puerto Rico und Südafrika. Oft werden diese tropischen Wannenböden auch als Schwarzerden bezeichnet, und das Vorkommen von Tonen der Montmorillonitgruppe ist durch dieselben Bedingungen ohne weiteres verständlich.

In basenarmen, sauren Wannenböden hat man in Südafrika Kaolinit festgestellt und aus drainierten Böden kennt man die Bildung der Tone dieser Gruppe aus Hawaii, Spanisch-Marokko, Kolumbien, Südafrika, Puerto Rico, Indonesien usw., sowie aus Böden der gemässigten Zone. Oft handelt es sich dabei um saure, basenarme und ausgelaugte Böden; sie bilden sich in den extremen Klimaten.

Oft hat man neben Kaolinit auch in grösseren Mengen Hydrargillit oder Tone der Montmorillonitgruppe beobachtet. Offenbar sind dann diese Tone Minerale des Muttergesteins (Laterit oder Sedimente) und ihr Vorkommen ist dann geologisch zu erklären.

Die Tonbildung im Boden ist also offenbar durch den Bodentyp bestimmt.

Durch den Abbau der Glimmer bilden sich ebenfalls Tone und wir finden diese in zahlreichen Bodentypen. Ihr Vorkommen dürfte durch das Muttergestein bedingt sein.

Literaturverzeichnis

Alvira Alvira, T. (1949): Suelos de la zona norte del Protectorado de España en Marocues. Anales de Edafologia y Fisiologia Vegetal, VIII/1.

Bonnet, J. A. (1953): Soil alinity studies as related to sugarcane growing in Southwestern Puerto Rico. Journ. of Agr. of the University of Puerto Rico XXXVII/2.

Ciallere et Henin (1953): Etude de l'altération de quelque roches en Guayanane. Ref. in Z. f. Pflanzenern., Düngung und Bodenkunde, 59/2.

Dean, L. A. (1947): Differential thermal analysis of Hawaii soils. Soil Sc. 63/2.

Deuel, H. (1950): Die Tone des Bodens. Schweiz. Landw. Monatshefte, Nr. 12.

Jeferie, Bonnet and Abruña (1953): The constituent minerals of some soils of Puerto Rico. The Journ. of Agric. of the University of Puerto Rico, XXXVII/2.

Miller and Coleman (1952): Colloidal properties of soils from western equatorial South America. Soil Sc. Proceeding, 16.

Mueckenhausen, E. (1953): Fossile Böden in der nördlichen Eifel. Geol. Rundschau, 41.

Pallmann, H. (1947): Pédologie et Phytosociologie. C. R. Congr. Int. Péd.

Rankana y Sahama (1954): Geoquímica. Barcelona.

Schaufelberger, P. (1950): Wie verläuft die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung in den Tropen? Schweiz. Min. u. Petr. Mitt. 30/2.
— (1951): La arcilla de los suelos tropicales. Bol. Técnico Nr. 5.
— (1952): Die Klimabodentypen des tropischen Kolumbiens. Vierteljahrsschr. der Naturf. Ges. in Zürich, XCVII.
— (1953a): Die nicht zonalen Bodentypen des tropischen Kolumbiens. Vierteljahrsschr. der Naturf. Ges. in Zürich, XCVIII.
— (1953b): Tropische Verwitterung und Bodenbildung über Andesit und Diorit. Schweiz. Min. und Petr. Mitt. 33/1.
— (1954): Zur Klassifikation der tropischen Bodentypen. Kali-Briefe Fachgebiet 4/13.
Stremme, H. E. (1954): Die charakteristischen Tonminerale einiger Hauptbodentypen. Z. für Pflanzenern., Düngung und Bodenkunde (65/1—3). Ref. in Kurz und Bündig 7/13—14.
Van der Merwe and Heystek (1952): Clay minerals of South African soil groups: I. Laterites and related soils. Soil Sc. 74/5.
Van Rummelen, F. F. F. E. (1954a): Enkele gegevens omtrent een bodenkundig onderzoek in de omgebing van Djasinga (West Java, Indonesia). Universität Indonesien.
— (1954b): Einige gegevens over gronden met tjenkeh-bepplanting in Java. Universität Indonesien.

Eingegangen: 2. März 1955.