

# Kritische Betrachtung der Bodenklassifikationen

Autor(en): **Schaufelberger, Paul**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **36 (1956)**

Heft 2

PDF erstellt am: **17.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28505>

## **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.

# Kritische Betrachtung der Bodenklassifikationen

Von *Paul Schaufelberger* (Chinchiná, Colombia)

## Einleitung

Heute ist man in den Tropen allgemein zur Überzeugung gelangt, dass die Böden dieser Zone auf Grund der offiziellen Bodenklassifikationen nicht bestimmt werden können. Da man aber dringend Bodenkarten haben wollte, war jedes Land, ja manchmal jedes Institut, gezwungen, irgend eine provisorische Lösung zu suchen. Diese Vielheit von Systemen hat den großen Nachteil, dass die Bodenkarten verschiedener Herkunft kaum oder nicht miteinander verglichen werden können.

Dabei ist die Frage der Bodenklassifikation schon alt, älter als die Bodenkunde selber, da Landwirtschaft und Steuerbehörden sich bald dafür interessierten. Es kann natürlich nun nicht die Aufgabe sein, alle Vorschläge zu betrachten, sondern wir wollen uns damit begnügen, die Grundlage der verschiedenen Systeme einer kritischen Studie zu unterziehen.

## GRUNDLAGEN DER BODENKLASSIFIKATION

M. GRACANIN gibt einen historischen Überblick über die Entwicklung der Bodenklassifikationen, ihrer Begründer und Vertreter. Er unterscheidet u. a. nachstehende Systeme.

### 1. Petrographische Bodenklassifikationen

Es ist eine bekannte Tatsache, dass sich auf gewissen Gesteinen sehr fruchtbare Böden entwickeln. So finden wir z. B. auf Kalk die ertragsreichen Rendzinas, Humuskarbonatböden, Terra rossa usw., oder auf Diabas die ebenso bekannte terra roxa. Daneben bilden sich auf demselben basischen Eruptivgestein die weniger fruchtbaren Klimaböden, wie

früher gezeigt worden ist (SCHAUFELBERGER, 1954). Ausserdem kennt man auf Basalt auch vegetationsfeindliche Magnesiasalzböden. Wenn nun ein und dasselbe Ursprungsgestein so verschiedene Böden zeigt, so wird man nicht erwarten dürfen, dass eine petrographische Karte zugleich auch als pedologische dienen kann.

## 2. Physikalische Methoden

Der praktische Landwirt unterscheidet schon lange schwere und leichte, kalte und warme Böden. Sie unterscheiden sich durch die Korngrösse der Bodenteilchen, auf der die zahlreichen physikalischen Bodenklassifikationen beruhen. Es gibt heute wohl kaum eine Bodenklassifikation, die diese Tatsache nicht in irgend einer Form benützt.

## 3. Chemische Bodenklassifikationen

Die Bodenklassifikation auf Grund der chemischen Zusammensetzung der Muttergesteine wie Silikate, Karbonate, Sulfate usw. ist im Grunde eine andere Ausdrucksweise der petrographischen Vorschläge. Auch eine systematische Beurteilung der Böden auf Grund der Pflanzennährstoffe wie Kalium, Stickstoff, Phosphor usw. hat zu keinem praktischen Ergebnis geführt. Schon aufschlussreicher sind Angaben über den Gehalt an austauschbaren Basen, weil wir so über die Umtauschkomplexe im Boden unterrichtet werden. Wir erfahren, ob milder, basenreicher, oder saurer und basenarmer Humus im Boden vorkommt. Verschiedene Autoren haben daher dieses Kriterium zur Bodenklassifikation vorgeschlagen und sind auch von verschiedenen Autoren von bodenkundlichen Lehrbüchern beachtet worden, aber doch ohne von der Bodenklassifikation berücksichtigt zu werden.

Anfänglich hat die Bodenkunde auch versucht, Pauschalanalysen von Oberböden zu deuten. So glaubte R. LANG (1922), der Gelberde-, Roterde-, Laterit- und Solverwitterung unterscheidet, Rot- und Gelberden durch das Verhältnis von Kieselsäure zu Aluminiumoxyd charakterisieren zu können. Sein Vorschlag fand aber in der Bodenkunde kaum Beachtung. Erst als HARRASSOWITZ (1930) die Idee wieder aufnahm und empfahl, die Tropenböden nach dem  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Ratio zu klassieren, fand er Eingang in die Lehrbücher der Bodenkunde. Aber in den Tropen versagte diese Methode vollständig, und die Bodenkunde verzichtete nun auf Pauschalanalysen von Böden, die sich nicht deuten lassen.

Nun ist der Oberboden kein Gestein oder Mineral mit bestimmter chemischer Zusammensetzung. Nicht diese ist massgebend, sondern die Vorgänge, die sich bei der Bodenbildung abspielen. Diese aber lassen sich auf Grund einer Pauschalanalyse des Oberbodens nicht erkennen, worauf schon P. NIGGLI (1925, S. 323) hinwies:

„Genaue Pauschalanalysen zersetzter Gesteine oder Böden werden leider selten ausgeführt, noch seltener sind derartige Untersuchungen in Verbindung mit chemisch-analytischer Erforschung des Ursprungsmaterials. Und doch müssen sie die Grundlage für weitere Untersuchungen darstellen. Es ist beispielsweise kaum angängig, eine Theorie der Verwitterung aufzustellen unter fast ausschliesslicher Benützung von Untersuchungen über die Salzsäure- und Schwefelsäureauszüge fertiger Böden, wie das GANSSEN getan hat.“

Ähnliche Gedankengänge finden wir auch bei E. BLANCK und seinen Schülern, denen wir zahlreiche Bodenuntersuchungen verschiedener Zonen und Klimate verdanken. Dabei wurden die einzelnen Horizonte ganzer Bodenprofile analysiert. Andere Forscher sind gelegentlich diesen Ratschlägen gefolgt, so dass wir heute über eine grössere Anzahl von analysierten Bodenprofilen verfügen.

SCHAUFELBERGER (1950) verglich die Pauschalanalysen von Oberböden und frischem Muttergestein in Niggliwerten und definierte als Auswaschungsfaktoren die Quotienten der Niggliwerte des Oberbodens durch die entsprechenden des Muttergesteins. Damit lässt sich zeigen, dass zwischen den Regenfaktoren und den Auswaschungsfaktoren von an austauschbaren Basen reichen und armen Böden folgende Beziehungen bestehen.

Tabelle 1. *Beziehungen zwischen Regenfaktoren, Gehalt an austauschbaren Basen und Auswaschungsfaktoren*

| Regenfaktor | Klima     | Auswaschungsfaktoren |                                   |
|-------------|-----------|----------------------|-----------------------------------|
|             |           | Basenarme Böden      | Basenreiche Böden                 |
| unter 40    | arid      | + si - c - alk       | + si - c - alk und + si - c + alk |
| 40— 60      | semiarid  | + si + c - alk       | + si + c - alk und + si - c + alk |
| 60—100      | semihumid | + si + c + alk       | + si - c + alk                    |
| 100—160     | humid     | + si - c + alk       | + si - c + alk                    |
| über 160    | perhumid  | + si - c - alk       | + si - c + alk                    |
|             |           | Klimasols            | Lithosols                         |

Bei den basenarmen Böden wiederholt sich der Auswaschungsfaktor + si - c - alk im ariden und perhumiden Klima. Die Böden sind aber

nicht identisch, denn jene haben rund 1% und diese 10—20% Humus. Ebenso sind die Lithosols des ariden und semiariden Klimas humusärmer als diejenigen der feuchten Klimate.

Um den Chemismus bei der Bodenbildung bei normaler Drainage charakterisieren zu können, sind zu berücksichtigen: 1. die Auswaschungsfaktoren, 2. der Gehalt an austauschbaren Basen und 3. der Humusgehalt.

#### 4. Morphologische Systeme

Die Morphologie spielt heute eine sehr grosse Rolle in der Bodenkunde, und man legt grossen Wert auf die Horizontbildung, Farben, Körnung, Gefüge, Konkretions- und Fleckenbildung usw. Man unterscheidet ABC-, AC-Profil und solche mit Grundwassereinfluss (G-Horizont).

Wesentlich für die Bodenbildung ist die Wasserbewegung im Boden. Diese wird durch die Lage und Form von undurchlässigen Schichten, einschliesslich der Ortssteinbildungen, im Untergrund bestimmt. Geologisch lassen sich nun leicht folgende Fälle unterscheiden:

1. *Der Grundwasserspiegel liegt tief.* Bei Regen versickert das nicht vom Boden zurückgehaltene Wasser in die Tiefe und in der regenlosen Zeit kommt die Wasserbewegung zum Stillstand. Wir bezeichnen solche mit nach unten gerichteter Wasserbewegung gekennzeichnete Böden als endoperkolativ.

2. *Der Grundwasserspiegel liegt hoch und die Böden sind zeitweise vernässt bis überschwemmt.* Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden:

a) die Staunässe kann langsam abfliessen, d. h. es handelt sich um einen gestauten Grundwasserstrom. In diesem Falle ist die Drainage zwar gehemmt, aber beim Sinken des Grundwasserspiegels werden die gelösten Salze verfrachtet; die Basenwegfuhr ist frei. Solche Böden bezeichnen wir als peri-endoperkolativ.

b) Die undurchlässige Schicht bildet eine abflusslose Mulde, in der sich ein Grundwassersee bildet, aus dem das Wasser nur durch Verdunstung entweichen kann, so dass die gelösten Salze zurückbleiben; die Basenwegfuhr ist gehemmt. Es sind peri-exoperkolative Böden.

3. *Der Grundwasserspiegel liegt so nahe an der Oberfläche, dass das Wasser kapillar zum Oberboden aufsteigen kann.* Auch hier sind wiederum zwei Fälle zu unterscheiden:

a) das Wasser stammt von einem Grundwasserstrom. Wenn dann

in der Regenzeit das überschüssige Wasser versickert und die nicht von den Umtauschkomplexen adsorbierten Ionen löst, so werden diese dem Grundwasser zugeführt und weiter verfrachtet; die Basenwegfuhr ist frei und diese Böden versalzen nicht. Sie sind amphiperkolativ.

b) Das Wasser steigt von einem Grundwassersee in einer undurchlässigen Wanne auf. Die Basenwegfuhr ist gehemmt und diese Böden werden mit der Zeit versalzen, da das Wasser nur durch Verdunsten entweichen kann. Diese Böden sind exoperkolativ.

4. *Die Böden sind dauernd vernässt oder überschwemmt.* Das ist nur in undurchlässigen Wannen möglich, und hier führt die dauernde Vernässung zur Sumpfbildung. Je nach Alter und Muttergestein bilden sich basenarme saure Sümpfe, basenreiche Niedermoore oder Salzsümpfe. Es handelt sich um periperkolative Böden.

Das Bodenprofil, bzw. die Lage und Form der undurchlässigen Schicht und die Höhe des Grundwasserstandes geben Auskunft, welche Wasserbewegung in Frage kommt. MOHR hat wohl als erster gezeigt, dass die Lage des Grundwasserspiegels die Perkolationsrichtung in erster Linie bestimmt. Neuerdings beschreibt auch MUECKENHAUSEN diese verschiedenen Wasserverhältnisse in den Böden. STREMMER klassiert die Böden nach der Vegetation und unterscheidet: 1. Waldböden, 2. Mineralnassböden, 3. Steppenböden, 4. Salzböden, 5. anmoorige Böden und 6. Sumpfböden. Die endoperkolative, peri-endoperkolative, amphiperkolative, exoperkolative, peri-exoperkolative und periperkolative Wasserbewegung im Boden bestimmt die von STREMMER angeführten Vegetationen.

Es ist also das geologische Substrat, das die Wasserbewegung im Boden in erster Linie bestimmt. Die Bodenkunde dagegen erklärt die Wasserbewegung im Boden a) durch das Klima, b) durch das Oberflächenrelief. Da aber beide Hypothesen nicht immer befriedigten, so hat die Bodenkunde die Wasserbewegung im Boden als Kennzeichen der Bodenbildung zu den Akten gelegt.

## 5. Klimatische Bodenklassifikationen

Schon E. RAMANN (1911) weist auf die Bedeutung des Klimas auf die Bodenbildung hin: „Die Abhängigkeit der Verwitterungsvorgänge vom Klima, besonders von Temperatur und Wasser, sowie die engen Beziehungen zwischen Flora und Fauna zum Klima führen von selbst zur Überlegung, dass auch die Bodenbildung eine Funktion des Klimas

ist.“ RAMANN unterscheidet dann zwei Gruppen: „Die Böden der humiden und ariden Gebiete. Humid ist ein Gebiet, in dem die Niederschläge die Verdunstung übertreffen; arid, wenn mehr verdunsten könnte, als durch die Niederschläge zugeführt wird.“ Er macht dann darauf aufmerksam, dass nicht eine absolute Regenmenge das humide Klima bestimme, da im Polargebiet dazu schon geringe Niederschläge genügen, in Mitteleuropa 600 mm erforderlich seien und in den Tropen erst 2000 mm ausreichen. Als wesentlich für die Bodenbildung bezeichnet er Niederschlag, Temperatur und Verdunstung.

Leider ist RAMANN zwei Irrtümern zum Opfer gefallen. Er übernimmt die Auffassung von HILGARD, dass die Bodenbildung im ariden und humiden Klima prinzipiell verschieden verlaufe. HILGARD begründet dies mit folgenden Analysen, die die Runde durch die Lehrbücher der Bodenkunde gemacht haben!

Tabelle 2. *Basengehalt von Böden arider und humider Klimate*

|                                | Böden arider Regionen | Böden humider Regionen |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|
| K <sub>2</sub> O               | 0,67                  | 0,21                   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,35                  | 0,14                   |
| CaO                            | 1,43                  | 0,13                   |
| MgO                            | 1,27                  | 0,29                   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,48                  | 3,88                   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7,41                  | 3,66                   |

Zweifellos sind die analysierten Böden der ariden Klimate basenreicher als die der humiden Gebiete. Offenbar sind diese endoperkolativ und jene exoperkolative Wannen- oder Salzböden. Die Wasserbewegung ist in diesen Böden verschieden, aber diese ist, wie wir bereits gesehen haben, in erster Linie durch das geologische Substrat bestimmt. Aber die Bodenkunde schloss daraus, dass das Klima die Perkolationsrichtung bestimme. Dieser Irrtum hat sich bis heute in den meisten Lehrbüchern der Bodenkunde erhalten. So geben SCHEFFER und SCHACHTSCHNABEL (1952) folgenden Unterschied bei der Bodenbildung im ariden und humiden Klima an:

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| Aride Böden           | Humide Böden     |
| Eluvialhorizont       | Illuvialhorizont |
| Illuvialhorizont      | Eluvialhorizont  |
| unbeeinflusster Boden |                  |

Im humiden Klima gehorcht das Wasser der Schwerkraft und versickert in die Tiefe. Aber warum wirkt die Schwerkraft im ariden Klima nicht auf das Sickerwasser?

Den zweiten Irrtum, der sich ebenfalls in den Lehrbüchern der Bodenkunde bis heute erhalten hat, übernahm RAMANN von den Geographen, die im letzten Jahrhundert die Welt erforschten und sich auch mit der Bodenklassifikation befassten: „Laterite, Roterden, Gelberden sind Böden der Tropen und Subtropen, in denen sie ausserordentlich grosse Gebiete bedecken.“ Zu dieser Tropenbödenklassifikation sagt ein Kenner der Tropen, P. VAGELER (1930): „Es ist eine psychologisch interessante Tatsache, die man fast in jedem Reisebericht feststellen kann, dass die betreffenden Autoren mit Konstatierungen, die ihr spezielles Arbeitsgebiet betreffen, falls sie ein solches haben, die gewissenhafteste Vorsicht walten lassen und lieber zuwenig als zuviel Schlussfolgerungen ziehen. Dafür halten sie sich dann aber, man kann fast sagen in der Regel, auf den Gebieten schadlos, wo sie nicht Fachleute sind.“

R. LANG (1915), der die Tropen aus eigener Erfahrung kennt, beurteilt das Klima nach der Jahrestemperatur und dem Niederschlag. Er unterscheidet mit seinem Regenfaktor fünf Klimate und in jedem soll sich bei optimalen Bodenbildungsbedingungen ein anderer Bodentyp bilden. In Kolumbien wurden mit Hilfe des Regenfaktors folgende normal drainierte Klimasols gefunden.

Tabelle 3. *Klimasols Kolumbiens*

| Regenfaktor   | unter 40       | 40—60          | 60—100         | 100—160        | über 160       |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Oberboden:    |                |                |                |                |                |
| Tiefe bis cm  | 40             | 40             | 60             | 45             | 20             |
| Humus %       | ca. 1          | ca. 2          | 3—5            | 5—10           | 10—20          |
| pH, unt. Wert | 4,1            | 6              | 5,5            | 4,5            | unter 4,5      |
| Auswaschungs- |                |                |                |                |                |
| faktor        | + si - c - alk | + si + c - alk | + si + c + alk | + si - c + alk | + si - c - alk |
| Name          | Kaktussol      | Bambussol      | Humussol       | Waldsol        | Urwaldsol      |

Im Gegensatz zu RAMANN, der in den Tropen spezielle Böden vermutet, nimmt LANG an, dass sich bei optimalen Bodenbildungsbedingungen bei gleichen Regenfaktoren in allen Zonen dieselben Bodentypen bilden. H. JENNY (1929) vergleicht in seiner viel zitierten Arbeit die Klimaböden Europas und Nordamerikas. Bei seinen Profilbeschreibungen sind die Regenfaktoren angegeben und die einzelnen Horizonte analysiert, so dass sich die Auswaschungsfaktoren berechnen lassen (SCHAUFELBERGER, 1955 d).

Tabelle 4. *Auswaschungsfaktoren nordamerikanischer Böden*

| Regen-<br>faktor | Boden             | si   | al   | fm   | c    | alk  | Bodentyp |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|------|----------|
| 36               | Wüstenboden       | 285  | 36   | 30   | 18   | 16   |          |
|                  | Gestein           | 102  | 12   | 13,5 | 69,5 | 5    |          |
|                  | Q                 | 2,8  | 3,0  | 2,22 | 0,26 | 3,20 | Lithosol |
| 42               | Kastanienboden    | 476  | 44   | 28   | 11,5 | 16,5 |          |
|                  | Muttergestein     | 269  | 29   | 21   | 36   | 13   |          |
|                  | Q                 | 1,77 | 1,52 | 1,33 | 0,32 | 1,27 | Lithosol |
| 43               | Kastanienboden    | 439  | 50   | 19,5 | 8,5  | 22   |          |
|                  | Gestein           | 310  | 26,5 | 23,5 | 32   | 16   |          |
|                  | Q                 | 1,42 | 1,87 | 0,83 | 0,26 | 1,22 | Lithosol |
| 51               | Tschernosem       | 533  | 46,5 | 22   | 8,5  | 23   |          |
|                  | Gestein           | 342  | 41,5 | 27   | 16   | 15,5 |          |
|                  | Q                 | 1,56 | 1,12 | 0,81 | 0,53 | 1,48 | Lithosol |
| 69               | Tschernosem       | 675  | 51,5 | 20,5 | 7,5  | 20,5 |          |
|                  | Gestein           | 571  | 50   | 27,5 | 6    | 16,5 |          |
|                  | Q                 | 1,18 | 1,03 | 0,75 | 1,25 | 1,24 | Humussol |
| 81               | Rot- und Gelberde | 885  | 35   | 33   | 6,5  | 25,5 |          |
|                  | Gestein           | 389  | 55   | 29   | 0    | 16   |          |
|                  | Q                 | 2,27 | 0,63 | 1,14 | ∞    | 1,59 | Humussol |
| 82               | Brauner Waldboden | 662  | 48,5 | 27   | 5,5  | 19   |          |
|                  | Gestein           | 143  | 15   | 24,5 | 43   | 17,5 |          |
|                  | Q                 | 4,64 | 3,24 | 1,10 | 0,13 | 1,08 | Lithosol |
| 100              | Waldsteppenboden  | 626  | 45,5 | 24,5 | 9    | 21   |          |
|                  | Gestein           | 501  | 45   | 27,5 | 7,5  | 20   |          |
|                  | Q                 | 1,25 | 1,01 | 0,88 | 1,20 | 1,05 | Humussol |
| 100              | Waldsteppenboden  | 537  | 45   | 24   | 9    | 22   |          |
|                  | Gestein           | 496  | 43   | 29   | 13   | 15   |          |
|                  | Q                 | 1,07 | 1,05 | 0,83 | 0,69 | 1,47 | Waldsol  |
| 115              | Rot- und Gelberde | 1293 | 63,5 | 30   | 0    | 6,5  |          |
|                  | Gestein           | 604  | 69,5 | 26   | 0    | 4,5  |          |
|                  | Q                 | 2,71 | 0,91 | 1,15 | 0    | 1,44 | Waldsol  |

Aus dem ariden Klima wird der graue Wüstenboden oder Sierosem genannt, der sich häufig auf Löss, also einem Ca-reichen Muttergestein bildet, worauf auch der Auswaschungsfaktor  $+si - c + alk$  hinweist. Es ist ein Lithosol, der sich auch in den Tropen in diesem Klima bildet. Aber aus dem ariden Klima kennt man aus der gemässigten Zone auch den Soloti und den degradierten Alkaliboden, aus dem die Basen wie beim Podsol ausgelaugt werden. Hier finden wir den Auswaschungs-

faktor + si - c - alk, und diese Böden sind die normal drainierten Klimaböden.

Aus dem semiariden Klima sind Kastanienböden und Tschernosem angeführt, deren Muttergestein ebenfalls häufig Löss ist. Es sind ebenfalls Lithosols. In den USA werden sie auch als Pedocals bezeichnet, und damals nahm man in den USA an, dass diese die Klimaböden der trockenen Klimate seien. Aber neben dem kastanienfarbenen Boden beschreibt GLINKA (1914) aus diesem Klima noch einen zweiten Bodentyp: seine Braunerde. Sie ist offenbar ein Bambussol.

Aus dem semihumiden Klima sind als Humussols Tschernosem, Rot- und Gelberde und ein Waldsteppenboden mit dem Auswaschungsfaktor + si + c + alk angeführt und aus dem humiden, auf basenarmen Muttergesteinen ein Waldsteppenboden und eine Rot- und Gelberde mit dem Perkolat + si - c + alk der Waldsols.

Dass beim Podsol im perhumiden Klima die Kieselsäure im Oberboden angereichert und die Basen ausgewaschen werden, weiss die Bodenkunde schon lange.

Daraus ergibt sich die Tatsache, dass bei gleichen Regenfaktoren sich in der gemässigten Zone und in den Tropen dieselben Klimaböden bilden. Aber die Bodenkunde kennt sie nicht als solche und sucht sie in den Lithosolen: Sierosem, Kastanienboden und Braunerde RAMANNS und im Hydrolithosol Tschernosem, der sich bei Regenfaktoren zwischen 40 und 190 bildet!

Im ariden und perhumiden Klima finden wir bei den Klimaböden den Auswaschungsfaktor + si - c - alk. In beiden Fällen werden die Basen stark ausgewaschen, und diese Tatsache widerlegt die Behauptung der Bodenkunde, dass im humiden Klima die Basen ausgewaschen, im ariden aber im Oberboden angereichert werden.

In beiden Zonen bilden sich dieselben Bodentypen, die in der gemässigten Zone häufig braune, in den Tropen häufig gelbe und rote Unterböden zeigen (SCHAUFELBERGER, 1955 a), aber es handelt sich nicht um Laterit, Rot- oder Gelberden mit wesentlich andern Eigenschaften.

RAMANN ist also einem Irrtum zum Opfer gefallen, als er die Ansicht HILGARDS über die Bodenbildung im ariden und humiden Klima und die Klassifikation der Tropenböden durch die Geographen übernahm, die behaupten, dass diese Laterit, Rot- und Gelberde seien. LANG (1915) hat mit seinem Regenfaktor diesen Irrtum korrigiert, aber LANG wird bekämpft, und die Hypothese, dass das Klima die Wasserbewegung im

Boden bestimme und Laterit, Gelb- und Roterden die Tropenböden seien, ist in den Lehrbüchern erhalten geblieben.

Hier bestätigt sich die alte Erfahrung: „Die Gewohnheit an eine Meinung führt zu völliger Überzeugung von ihrer Richtigkeit.“ Es ist weiter interessant zu beobachten, dass Autoren den Regenfaktor als unbrauchbar ablehnen, aber ihn dann in einer Modifikation doch brauchen oder empfehlen. MOHR und VAN BAREN lehnen ihn ab, aber empfehlen als Klimafaktor den von den Regenfaktoren abgeleiteten N-S-Quotient von MEYER. Auch TROLL (in LAUER, 1952) geht gegen den Regenfaktor an und benützt dann den Ariditätsindex von DE MARTONNE, der ebenfalls eine Modifikation des ersteren darstellt. Tatsache ist weiter, dass die kolumbianischen Bauern das Tropenklima nach der Befeuchtung und der mittleren Jahrestemperatur beurteilen, also unbewusst den Regenfaktor benützen (SCHAUFFELBERGER, 1955 c). „Dagegen stehen die Meteorologen der Verwendung des Regenfaktors meist ablehnend gegenüber; solange sie uns jedoch nichts Besseres als Ersatz zu bieten haben, müssen sie schon gestatten, dass wir uns selbst zu helfen versuchen“ (R. ALBERT, 1930).

Ein Irrtum wird nicht dadurch zur Wahrheit, dass er von Lehrbuch zu Lehrbuch wandert!

## 6. Genetische Systeme

Es ist vor allem das Verdienst der russischen Forscher, die Aufmerksamkeit auf die Vorgänge bei der Bodenbildung gelenkt zu haben. Aber hinsichtlich der Bodenbildungsfaktoren gehen die Ansichten in der Bodenkunde auseinander:

1. Klima, Organismen, Relief, Muttergestein und Zeit.
2. Geologie, Organismen, Klima, Zeit und Mensch.
3. Geologie, Klima, Organismen, Zeit und Zone.

Offenbar sind es fünf Faktoren, die eine Rolle spielen; der Einfluss der Geologie, des Klimas, der Organismen und der Zeit wird allgemein anerkannt. Da das Relief geologisch bedingt ist, brauchen wir es nicht besonders anzuführen; ebenso lässt sich der Einfluss des Menschen bei den Organismen behandeln. Es bleibt dann noch die Zone. Hier ist es interessant, festzustellen, dass die Bodenkunde zwar annimmt, dass sich in den Tropen besondere Böden bilden, aber die Zone als Bodenbildungsfaktor nicht kennt. Sie anerkennt zwar, dass im warmen Klima der

Tropen die bodenbildenden Vorgänge schneller und intensiver verlaufen. Offenbar macht sich der Einfluss der Zone eher in Profileinheiten geltend, wie beispielsweise in der Tiefgründigkeit der Verwitterung, also in graduellen und nicht prinzipiellen Unterschieden.

#### a) Das geologische Substrat

Geologie ist Dynamik und befasst sich mit den Vorgängen und Veränderungen der Erdkruste. Sie unterscheidet physikalische und chemische Verwitterung und Bodenbildung und stellt diese Vorgänge zu den Gesteinsmetamorphosen. Diese können von chemischen Veränderungen begleitet sein, die durch Materialzufuhr oder Materialwegfuhr bedingt sind, wie bei der Kontaktmetamorphose oder der hydrothermalen Gesteinsumwandlung. Dabei können sich auch neue Mineralien bilden, die für den Vorgang kennzeichnend sind. Allfällige chemische Veränderungen zeigen Vergleiche des Eduktes mit dem Produkt, wobei sich die Niggliwerte bewährt haben.

Bei der physikalischen Gesteinsauflockerung beteiligen sich an der Erdoberfläche Temperaturschwankungen und Transport des Materials durch Schwerkraft, Wasser und Wind. Durch Ablagerung bilden sich Schutthalden, Schuttkegel, fluviale und äolische Sedimente, deren Lockermassen in vielen Fällen das Muttergestein der heutigen Böden sind. Aber im bewachsenen Boden finden wir diese Vorgänge nicht, weil die Voraussetzungen dazu fehlen.

Die rein chemische Verwitterung der Gesteine finden wir beispielsweise bei der hydrothermalen Gesteinsumwandlung in der Erdkruste. Dazu gehören die Umwandlung der Feldspäte in Kaolinit, Dickit und Nakrit, je nach der Temperatur, und diejenige von Olivin basischer Eruptivgesteine in Serpentin (JAFFÉ, 1955).

Tabelle 6. *Chemische Verwitterung*

|                      | si   | al   | fm   | c    | alk  |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| a) Kaolinit (Mittel) | 197  | 91,5 | 4    | 1    | 3,5  |
| Feldspat             | 267  | 47   | 5    | 1,5  | 46,5 |
| Q                    | 0,67 | 1,95 | 0,8  | 0,67 | 0,07 |
| b) Serpentin         | 55   | 14   | 82   | 1    | 3    |
| Ophiolith            | 145  | 27,5 | 44   | 5    | 23,5 |
| Q                    | 0,38 | 0,51 | 1,98 | 0,20 | 0,13 |
| c) Serpentin         | 54   | 14   | 79   | 5    | 2    |
| Ophiolith            | 115  | 23   | 54,5 | 8,5  | 14   |
| Q                    | 0,47 | 0,61 | 1,45 | 0,59 | 0,14 |

Bei allen diesen Vorgängen werden Kieselsäure und die Basen, bei der Serpentinbildung auch Aluminium ausgewaschen.

Ähnliche Verhältnisse finden wir bei der Wüstenverwitterung (SCHAUFELBERGER, 1950).

Tabelle 7. *Wüstenverwitterung*

|                    | si   | al   | fm   | c    | alk  |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| a) Sandstein verw. | 399  | 28   | 29   | 27   | 16   |
| „ frisch           | 2230 | 3    | 56   | 14   | 27   |
| Q                  | 0,18 | 9,33 | 0,56 | 1,93 | 0,62 |
| b) Grauwacke verw. | 259  | 48,5 | 45,5 | 3,5  | 2,5  |
| „ frisch           | 403  | 14,5 | 72,5 | 8    | 5    |
| Q                  | 0,64 | 3,34 | 0,64 | 0,44 | 0,50 |
| c) Pegmatit verw.  | 222  | 33   | 28,5 | 24,5 | 14   |
| „ frisch           | 474  | 49   | 10   | 6    | 35   |
| Q                  | 0,47 | 0,67 | 2,85 | 4,09 | 0,40 |

Auch hier wird Kieselsäure mit den Alkalien entfernt, teilweise allein, teilweise mit Kalzium oder Aluminium.

Betrachten wir zum Schluss noch einige Lateritbildungen, die der Literatur entnommen sind:

Tabelle 8. *Lateritbildung*

|            | si   | al   | fm   | c    | alk  |
|------------|------|------|------|------|------|
| a) Laterit | 31   | 48   | 50,5 | 1,5  | 0    |
| Gneis      | 247  | 42,5 | 16   | 21   | 20,5 |
| Q          | 0,13 | 1,13 | 3,14 | 0,07 | 0    |
| b) Laterit | 5    | 66,5 | 33,5 | 0    | 0    |
| Syenit     | 191  | 45   | 11,5 | 4,5  | 39   |
| Q          | 0,03 | 1,47 | 2,91 | 0    | 0    |
| c) Laterit | 1    | 60,5 | 39,5 | 0    | 0    |
| Dolerit    | 137  | 36   | 34   | 24,5 | 5,5  |
| Q          | 0,07 | 1,68 | 1,16 | 0    | 0    |

Auch hier stellen wir die Abwanderung der Kieselsäure und der Basen fest. Laterit bildet sich offenbar meist als Tiefenlaterit, doch ist seine Bildung an der Oberfläche nicht ausgeschlossen, wie die Bildung von unbewachsenen Verwitterungskrusten zeigt.

Bei der chemischen Verwitterung finden wir folgende Auswaschungsfaktoren:

|                     |                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------------------|
| — si — c — alk      | Kaolinitbildung, Lateritbildung, Wüstenverwitterung |
| — si — al — c — alk | Serpentinbildung                                    |
| — si — al — alk     | Wüstenverwitterung                                  |
| — si — alk          | Wüstenverwitterung                                  |

Bei der Bodenbildung sind, wie Tabelle 1 zeigt, folgende Auswaschungsfaktoren festgestellt: (+ si — c — alk), (+ si + c — alk), (+ si — c + alk) und (+ si + c + alk). Diese Verwitterung ist offenbar an die Anwesenheit von organischer Substanz (Humus) gebunden, und dabei bilden sich Tone der Kaolinit- und Montmorillonitgruppe.

Auf Grund dieser petrographischen Tatsachen ergeben sich zwischen der physikalischen und chemischen Verwitterung und der Bodenbildung folgende Unterschiede:

| Verwitterung         | physikalisch | chemisch                                                               | Bodenbildung                                                         |
|----------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Mineralneubildung    | 0            | Serpentin, Nakrit, Dickit<br>Hydrargillit                              | Humus                                                                |
| Auswaschungsfaktoren | 0            | — si — c — alk<br>— si — al — c — alk<br>— si — al — alk<br>— si — alk | + si — c — alk<br>+ si + c — alk<br>+ si — c + alk<br>+ si + c + alk |

Bei der chemischen Verwitterung und der Bodenbildung bilden sich verschiedene Produkte. Bei der ersteren wird die Kieselsäure entfernt, bei der letzteren angereichert. Diese Tatsache ist der Petrographie bekannt, und sie unterscheidet Lateritbildung und Kaolinbildung, Hydrolyse und Kohlensäureverwitterung, chemische und biogene Verwitterung und allitische und siallitische Verwitterung. Daraus ergibt sich eindeutig, dass der Laterit ein Gestein und kein Boden ist. Das will die Bodenkunde aber nicht zugeben: „Dass aber der sogenannte primäre Laterit ein durch Diagenese gebildetes „Gestein“ sein soll, kann der Petrograph kaum zugeben...“, wird von dieser Seite behauptet. Dass aber alle die zahlreichen Versuche, die allitische Lateritbildung durch siallitische Bodenbildungsvorgänge zu erklären, gescheitert sind, darüber täuschen auch die umfangreichsten Werke über Laterit nicht hinweg.

Die Erkenntnis, dass sich in den Tropenböden, je nach Drainage, Tone der Kaolinit- oder Montmorillonitgruppe bilden, hat allmählich Anerkennung gefunden, und man bezeichnet sie neuerdings als Latosol im Gegensatz zum Laterit, der in der Literatur immer noch als typischer Tropenboden angesehen wird. Da aber beide Mineralgruppen sich auch geologisch bilden können, so sind sie nicht unbedingt kennzeichnend für

die Art der biogenen Verwitterung, da ihre Anwesenheit im Boden auch durch das Muttergestein bedingt sein kann.

Als weitere Mineralneubildung im Boden sind die Eisenhydroxyde zu nennen. Auch sie sind nicht kennzeichnend, da sie Produkte der chemischen Verwitterung sind. Aber sie machen sich dadurch bemerkbar, dass sie den mineralischen Bodenanteil färben. Die Mineralogie unterscheidet:

Tabelle 9. *Eisenminerale*

| Mineral       | Formel                                                       | Farbe |
|---------------|--------------------------------------------------------------|-------|
| Limonit       | $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$           | gelb  |
| Xanthosiderit | $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$           |       |
| Goethit       | $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1 \text{H}_2\text{O}$           |       |
| Turgit        | $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ |       |
| Hämatit       | $\text{Fe}_2\text{O}_3$                                      | rot   |

Die Geologie zeigt also einmal die verschiedenen Wasserbewegungen im Boden, und die Petrographie beweist, dass die Bodenbildung siallitische oder biogene Verwitterung ist, bei der die Kieselsäure im Verwitterungsprodukt (Oberboden) angereichert wird. Ausserdem erfahren wir, dass die Eisenhydroxyde je nach Wassergehalt die Farbe wechseln und dadurch die Unterböden gelblich, gelb, braun oder rot färben.

Die Bodenkunde ihrerseits behandelt als bodenbildenden Faktor der Geologie ausführlich das Muttergestein und legt auch Wert auf das Oberflächenrelief. Damit aber kann sie die geologischen und petrographischen Vorgänge nicht erklären. Offenbar sind ihr diese, wie auch die Niggliwerte, zu kompliziert. Sie zieht es vor, die Bodenbildung als physikalische + chemische Verwitterung zu deuten. Gewiss werden beide Vorgänge oft nebeneinander auftreten, aber dabei bildet sich kein Boden.

#### b) Klima

Die Bodenkunde anerkennt den Einfluss auf die Bodenbildung und legt Wert auf die Regenmenge und die Jahrestemperatur, gelegentlich auch auf die Verdunstung. Den Regenfaktor lehnt sie, wie wir gesehen haben, teilweise ab, wohl unter dem Druck der Meteorologie und Klimatologie der gemässigten Zone.

#### c) Organismen

Wohl kennt die Bodenkunde Waldböden, zeitweise nasse Savannenböden, Steppenböden, Salzböden, anmoorige Böden und Sümpfe. Aber die Vorstellung der Geographen und Klimatologen, die die Steppe als

Vegetation des trockenen, die Savanne als solche des wechselfeuchten und den Wald als diejenigen des immerfeuchten Klimas deuten, ist noch weit verbreitet. Trotz der Tatsache, dass sich der immergrüne Laubwald des immerfeuchten Tropenklimas bei Regenmengen zwischen 125 und 250 cm und Trockenzeiten von 0 bis 5 Monaten bildet, wird immer und immer wieder behauptet, dass sich unter solchen Bedingungen eine Savanne bilde! Auch übersieht man die Tatsache, dass im sehr ariden Klima in der Wüste Oasen und Sümpfe vorkommen!

#### d) Zeit

JENNY (1926) und PALLMANN (1934) haben wohl als erste auf die Sukzessionsserien bei der Bodenbildung hingewiesen und gezeigt, wie das Gestein sich allmählich zu einem Boden verwandelt. Neuerdings haben auch MOHR und VAN BAREN eine solche Sukzessionsserie auf vulkanischer Asche aus Indonesien beschrieben. Die genannten Autoren unterscheiden folgende Glieder der Sukzessionsserie:

| JENNY (1941)      | PALLMANN (1934)            | MOHR u. VAN BAREN (1954)                |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| solum crudum      | Rohböden                   | Initiales Stadium: Frischer Aschenboden |
| solum semicrudum  | schwach entwickelter Boden | Juveniles Stadium: Tarapan              |
| solum immaturum   | mässig entwickelter Boden  | Viriles Stadium: Braunerde              |
| solum semimaturum | reife Böden                | Seniles Stadium: Roterde                |
| solum maturum     | degradierte Böden          | Finales Stadium: Laterit                |

Alle Autoren unterscheiden fünf Entwicklungsgrade, aber es dürfte heute nicht leicht sein, einen reifen Boden genau zu definieren. MOHR und VAN BAREN erwähnen die Farbänderung im Laufe der Zeit, wobei allerdings das Endprodukt Laterit etwas problematisch sein dürfte, ob schon in der Bodenkunde derselbe nicht selten als Endprodukt der tropischen Bodenbildung bezeichnet wird. Auch in Kolumbien (SCHAU-FELBERGER, 1951, 1955 a) finden wir rote und gelbe Böden in allen Klimaten und auf allen Muttergesteinen. Die graue, gelbliche, gelbe, braune und rote Farbe des Unterbodens dürfte daher das sichtbare Merkmal der relativen Bodenentwicklung sein, sofern die Farbe nicht schon im Muttergestein auftritt.

Über die Einwirkung der genannten Faktoren auf die Bodenbildung schreibt GLINKA (1914): „Wenn wir die Verwitterungsprozesse theoretisch betrachten, so können wir von der chemischen Arbeit des Wassers und anderer Faktoren einzeln sprechen, wenn wir aber von den theoretischen Betrachtungen zu der Natur selbst übergehen, so müssen wir unter den

Verwitterungsprozessen die Gesamtheit einer Reihe von Kräften verstehen. Es sind komplizierte physikalisch-chemische Vorgänge, die in jeder oberflächlichen Gesteinsart unter dem Einfluss der atmosphärischen Faktoren einerseits und der Menge der die Erdoberfläche bewohnenden Organismen und der Produkte ihrer Lebenstätigkeit und Verwesung andererseits stattfinden.“

Um den Boden auf Grund seiner Genetik beurteilen zu können, wäre es notwendig, die Sukzessionsserien genau zu kennen, um jeden Boden in diese einreihen zu können. Aber auch dann wäre dies nur möglich unter der Annahme, dass die einzelnen Bodenbildungsfaktoren unverändert wirken, was aber kaum den Tatsachen entsprechen dürfte.

## 7. Dynamische Bodenklassifikationen

Während die Genetik uns Aufschluss gibt, wie ein Boden entstanden ist, stellt die Systematik die Fragen: 1. Was hat sich im Boden gebildet? 2. Was ist diesem zugeführt oder aus diesem entfernt worden? Darüber kann das Bodenprofil Auskunft geben. PALLMANN (1947, 1949) schlägt vor, den Boden auf Grund von profileigenen Kennzeichen zu klassieren, und nach diesen unterscheidet er folgende Kategorien:

1. *Bodenklassen*: Sie sind durch die Perkolationsrichtung bestimmt (exo-, amphi-, endo- und periperkolative Böden).

2. *Bodenordnungen*: Die Bodenklassen werden nach dem Grad der Verwitterung und dem Humusgehalt in Bodenordnungen geteilt (petrogene, minero-chemogene, organogene, organo-petrogene, organo-minerogene Böden).

3. *Bodenverbände*: Die Bodenordnungen werden nach dem Chemismus des mineralischen Bodengerüsts weiter in Bodenverbände geschieden (allitische, siallitische, terralkitische, terralkitisch-siallitische, ferrisiallitische, heterolitische Böden).

4. *Bodentypen*: Die Bodenverbände werden nach dem vorherrschenden Perkolat in Bodentypen unterteilt (Alk-, Terralk-, Sesquihum-, Sesqui-Sil-, Acid-Hum-Böden).

5. *Bodenuntertypen*: Die Bodentypen werden nach dem Entwicklungsgrad der Typenkennzeichen in Bodenuntertypen getrennt (Rohböden, schwach entwickelte Böden, mässig entwickelte Böden, reife (vollentwickelte) Böden, degradierte Böden).

6. *Bodenvarietäten*: Zur Charakterisierung der Bodenvarietäten innerhalb der Bodenuntertypen können beliebige Kennzeichen ver-

wendet werden (Faktoren der Bodenbildung, Prozesse der Bodenbildung; Eigenschaften der Böden; Horizonteigenschaften).

Vergleichen wir nun den Vorschlag PALLMANNs mit den uns bekannten Tatsachen!

### 1. Die Bodenklassen

Sie sind nach dem Vorschlag von PALLMANN durch die Perkulationsrichtung bestimmt. Auf Grund des geologischen Tatsachenmaterials sind sechs Wasserbewegungen im Boden zu unterscheiden. Sie bestimmen die natürlichen Vegetationen, nach denen STREMMER (1926) seine Vegetationstypen klassiert. Diese „Bodentypen“ entsprechen nun PALLMANNs Bodenklassen:

| Bodenklasse            | Vegetationsbodentyp                   |
|------------------------|---------------------------------------|
| 1. endoperkolativ      | 1. Waldböden                          |
| 2. peri-endoperkolativ | 2. Mineralnassböden (= Savannenböden) |
| 3. amphiperkolativ     | 3. Steppenböden                       |
| 4. exoperkolativ       | 4. Salzböden                          |
| 5. peri-exoperkolativ  | 5. anmoorige Böden                    |
| 6. periperkolativ      | 6. Sumpfböden                         |

Sobald wir die Perkulationsrichtung nach den geologischen Tatsachen definieren, so bestimmen sie 6 Bodenklassen, die STREMMER auf Grund der natürlichen Vegetation bereits gefunden hat. Zwei ganz verschiedene Methoden haben zum selben Ergebnis geführt, so dass nun die durch die Wasserbewegung bestimmten Bodenklassen Tatsache sind.

### 2. Die Bodentypen

Nach dem Vorschlag von PALLMANN ist der Bodentyp durch die Kennzeichen der Klasse (Perkulationsrichtung), der Ordnung (Humusgehalt und Verwitterungsgrad), des Verbandes (Chemismus des mineralischen Bodengerüsts) und des Types (Perkolat) definiert. Nun haben wir bei der chemischen Bodenklassifikation gesehen, dass die endoperkolativen Waldböden sich nach dem Gehalt an austauschbaren Basen in basenreiche Lithosols und basenarme Klimasols aufteilen lassen. Diese unterscheiden sich dann weiter durch Humusgehalt und Auswaschungsfaktoren. Diese Klimabodentypen sind also bestimmt durch: 1. Perkulationsrichtung, 2. (niederen) Gehalt an austauschbaren Basen, 3. Humusgehalt und 4. Auswaschungsfaktoren.

Vergleichen wir diese Tatsachen mit dem Vorschlag PALLMANNs,

so bestimmt die Perkulationsrichtung die Klasse, der Humusgehalt, allerdings mit dem Verwitterungsgrad, die Ordnung und das Perkolat den Bodentyp. Dieses können wir durch die Auswaschungsfaktoren, die allerdings mit einer petrographischen Methode gefunden wurden, ersetzen. Im Vorschlag ist der Verband durch den Chemismus des mineralischen Bodengerüsts definiert, und als Kennzeichen werden Verwitterungsprodukte gewählt. Nun ist aber, wie wir gesehen haben, die Bodenbildung siallitisch, und die Tone gehören zur Kaolinit- oder Montmorillonitgruppe. Sie unterscheiden sich ausser dem Kristallgitter durch die Basenadsorptionskapazität. Aber an den Basenumtauschreaktionen beteiligt sich auch der milde Humus. Setzen wir nun an Stelle des Kennzeichens „Chemismus des mineralischen Bodengerüsts“ allgemeiner „Chemismus der Verwitterungsprodukte“, so können wir als Kennzeichen des Verbandes den Gehalt an austauschbaren Basen gebrauchen.

Verwenden wir nun als Kennzeichen 1. Perkulationsrichtung, 2. Humusgehalt, 3. Gehalt an austauschbaren Basen und 4. die nach den Auswaschungsfaktoren definierten Perkolate, so finden wir unter den Bodentypen die Lithosols und Klimasols, also Bodengruppen, die ebenfalls in der Natur gefunden worden sind und deren Vorkommen die Bodenkunde annahm.

Die bei den endoperkolativen Böden gefundene Möglichkeit einer Unterteilung durch obige Kennzeichen lassen sich auch auf die andern Bodenklassen anwenden.

### 3. Die Bodenuntertypen

Diese sind im Vorschlag PALLMANNs durch den Grad der Entwicklung der Kennzeichen definiert, und aus seiner Beschreibung geht hervor, dass hier die Unterschiede der Glieder der Sukzessionsserien irgendwie zum Ausdruck gebracht werden sollen. Aber hier besteht eine Schwierigkeit: die Glieder einer Sukzessionsserie können verschiedenen Bodentypen, ja verschiedenen Bodenklassen angehören.

Aber die Mineralogie zeigt, dass die Eisenhydroxyde bei der Dehydratation die Farbe wechseln, und zwar von gelb zu rot. Hier haben wir offenbar eine Uhr, die uns die relative Zeit der Bodenentwicklung angibt. Dass die Böden auf vulkanischer Asche mit der Zeit die Farbe wechseln, bestätigen auch die Feststellungen von MOHR und VAN BAREN aus Indonesien. Hier hätten wir dann weiter das Kennzeichen des „Chemismus des mineralischen Bodengerüsts“. Es bestimmt nun nicht den Verband, sondern den Bodenuntertyp.

#### 4. Die Bodenart

Im Vorschlag PALLMANNs finden wir als Kennzeichen der Bodenordnung den „Verwitterungsgrad“. Bei kompakten Muttergesteinen findet eine Auflockerung statt, die wir durch den Dispersitätsgrad oder die Körnung bestimmen können. Zur Klassifikation bestehen zahlreiche Vorschläge, die alle gebraucht werden können. Wir begnügen uns daher mit den allgemeinen Bezeichnungen steinig, sandig, lehmig und tonig.

#### 5. Die Bodenvarietät

Hier können beliebige Kennzeichen verwendet werden. Wir finden sie bei den Lokalböden der meisten Klassifikationen wie auch bei den „soil types“ der Nordamerikaner. Zu dieser Kategorie gehören die Tausende von beschriebenen und irgendwie definierten Böden. Sie sind es, die durch die Systematik zu Gruppen höherer Einheiten zusammengefasst werden sollen. Die Aufgabe ist klar, aber welche Merkmale sollen dazu benützt werden?

Mit diesem Problem hat sich auch die Mineralogie auseinanderzusetzen und P. NIGGLI (1949) schreibt dazu:

„Um das Individuelle und Einmalige zu eliminieren bzw. der wissenschaftlichen Erkenntnis dienstbar zu machen, muss man vereinfachen, schematisieren und idealisieren, in ihm das Allgemeine erkennen. Aber dieses Vorgehen darf nicht willkürlich sein. Es rechtfertigt sich stets nur durch den Erfolg, durch das Mass der gewonnenen Einsicht in neue Zusammenhänge. Die Folgerungen müssen einer Nachprüfung standhalten, und es dürfen keine unlöslichen Widersprüche mit bereits bekannten Tatsachen entstehen. — In diesem Sinne jedoch tritt der Naturforscher nicht als blosser Dokumentensammler und photographierender Zeuge gegenüber, sondern als Auswählender und Wertender. Er hat gemäss der Fassungskraft des Geistes ein Modell der Natur zu entwerfen, das deren für ihn wesentliche Züge enthält. Wie bei einem künstlerischen Werke ist es nicht leicht, von vornherein zu sagen, was wesentlich ist; aber eins ist sicher, es handelt sich hierbei nicht um einen selbstherrlichen Entscheid, sondern um eine Bewertung, deren Richtigkeit nur durch die Folgeerscheinungen feststellbar ist. Wesentlich muss etwas nicht für den Forscher sein, sondern für das naturwissenschaftliche Weltbild in seiner Allgemeingültigkeit.“

Während die Bodenklassifikationen bisher grossen Wert auf Farbe, Körnung, Gefüge usw. legten, stellte PALLMANN Perkulationsrichtung, Humus und Perkolat an erste Stelle. Durch ganz geringe Modifikationen gelang es nun, die Tropenböden nach der Idee dieses Vorschlages zu klassieren. Dadurch kommen wir zum modifizierten System PALLMANN (SCHAUFELBERGER, 1955 b):

1. *Bodenklassen*: Sie sind durch die Perkulationsrichtung bestimmt (endo-, peri-endo-, amphi-, exo-, peri-exo-, periperkolativ).

2. *Bodenordnungen*: Die Bodenklassen werden nach dem Humusgehalt in Bodenordnungen geteilt (humusarm, humusreich, sehr humusreich).

3. *Bodenverbände*: Die Bodenordnungen werden nach dem Gehalt an austauschbaren Basen in Bodenverbände unterteilt (basenarm, basenreich, basenüberreich).

4. *Bodentypen*: Die Bodenverbände werden nach dem Perkolat, das durch die Auswaschungsfaktoren bestimmt wurde, in Bodentypen unterteilt (+ si - c - alk, + si + c - alk, + si - c + alk, + si + c + alk).

5. *Bodenuntertypen*: Die Bodentypen werden nach der Farbe des mineralischen Bodenanteils in Bodenuntertypen geteilt (grau, gelblich, gelb, braun, rot).

6. *Bodenarten*: Die Bodenuntertypen werden nach der Körnung weiter in Bodenarten unterteilt (z. B. steinig, sandig, lehmig, tonig).

7. *Bodenvarietäten*: Die Bodenarten können nach beliebigen Kennzeichen in Bodenvarietäten gegliedert werden (Konkretionen, Bleichhorizonte, Muttergestein, Ionenanteil der austauschbaren Basen usw.).

Neu sind nun die Bodentypen durch die Definition des Vorschlages PALLMANN'S, neu aber auch die geologische der sechs Perkolationsrichtungen und der petrographischen der Perkolate durch die Auswaschungsfaktoren. Ungewohnt ist weiter die Verwendung des Gehaltes an austauschbaren Basen zu systematischen Zwecken.

Dazu kommt, dass diese neuen Bodentypen naturgemäss in keiner Bodenkunde beschrieben oder in den offiziellen Bodenklassifikationen angeführt sind. Die in der Literatur bekannten Bodentypen, wie Rot-, Gelb- und Braunerden, Tschernosem, Solontschak, Solonetz usw. sind es nicht, wenn sich diese Böden natürlich auch ohne weiteres klassieren lassen. Es sind neue Bodentypen mit bestimmten Eigenschaften, die man noch nicht kennt. Die Bodenkunde lehnt sie gefühlsmässig ab und kritisiert die provisorischen Namen dieser neuen Typen!

#### NOMENKLATUR

In der Geologie gilt als oberstes Gesetz, dass neu beschriebene Gesteinsschichten nicht nach den offiziellen Namen der Stratigraphie benannt werden. Auf die Bodenkunde angewandt heisst das, man soll Lokalböden nicht die Namen von Bodenklassen oder Bodentypen geben. Das bleibt natürlich ein Wunsch, solange eine anerkannte Nomenklatur fehlt.

Die nordamerikanische Systematik will die Böden nach Eigenschaf-

ten des Profils bezeichnen und vermeidet Namen nach der Umwelt. Nun sind die nordamerikanischen „soil types“ die unterste Einheit, und die Regel, auf diese angewandt, hat sicherlich ihre Vorteile. Wendet man sie aber auch für höhere Einheiten an, so kommt man zum bekannten Chaos der Rot-, Gelb-, Braun-, Grau- und Schwarzerden!

MARBUT (in JOFFÉ, 1949) gibt hinsichtlich der Nomenklatur folgenden Rat: „Forget about the names of soil types, get the characteristics!“ Dieser Rat lässt sich leicht befolgen, wenn ein Boden nach dem modifizierten System PALLMANN klassiert ist, wie ein Beispiel zeigen mag.

### Boden Nr. 1098

Ort: Sevilla, Meereshöhe 1490 m

Klima: Niederschlag ca. 2500 mm, Temperatur ca. 20°C; Regenfaktor ca. 125

Vegetation: Kaffee

Topographie: 10° Neigung

Muttergestein: Diabas

| Bodenprofil:             | Oberboden   | Unterboden |
|--------------------------|-------------|------------|
| Mächtigkeit cm           | 18          | 82 + x     |
| pH                       | 5,15        | 5,65       |
| Humus %                  | 4,37        | 4,21       |
| Abschlämbbare Teilchen % | 6,6         | 9,8        |
| S mval                   | 22,38       | 9,18       |
| Farbe                    | dunkelbraun | rot        |

### Klassifikation nach dem modifizierten System PALLMANN:

- |              |                |
|--------------|----------------|
| 1. Klasse:   | endoperkolativ |
| 2. Ordnung:  | humusreich     |
| 3. Verband:  | basenreich     |
| 4. Typ:      | + si – c + alk |
| 5. Untertyp: | rot            |
| 6. Art:      | sandig         |
| 7. Varietät: | auf Diabas     |

Es ist also ein endoperkolativer, humusreicher, basenreicher, + si – c + alk, roter und sandiger Boden auf Diabas. Wahrlich eine etwas lange Bezeichnung für eine terra roxa!

Nun bestimmen die ersten vier Kennzeichen den Bodentyp, in diesem Fall den Quindíosol. Geben wir nun dem Bodentyp einen neutralen Namen, um Verwechslungen mit bekannten Böden zu vermeiden, so vereinfacht sich die Bezeichnung wesentlich: roter, sandiger Quindíoboden auf Diabas. Finden wir denselben Boden auf kalkführendem Muttergestein, dann ist es ein roter, sandiger Quindíoboden auf kalkhaltigem

Muttergestein oder eine Terra rossa. Diese und die terra roxa unterscheiden sich durch das Muttergestein und evtl. die Körnung: es sind Bodenvarietäten des roten Quindíobodens und daher keine Bodentypen, wie vielfach behauptet wird.

Wir können nun jeden Lokalboden auf Grund seiner Kennzeichen klassieren und benennen, wobei es zweckmässig ist, dem durch die vier ersten Kennzeichen definierten Bodentyp einen neutralen Namen zu geben, in dem die Endung -sol andeutet, dass es sich um keinen Lokalboden, sondern um eine höhere Kategorie handelt. Der Lokalboden kann dabei seine bisherige Bezeichnung behalten. Immerhin wird die Klassifikation ergeben, dass durchaus nicht alle als terra rossa oder terra roxa bezeichneten Böden zu den Quindíosols oder den humusärmern Calisols gehören. Aber durch die Klassifikation im modifizierten System PALLMANN lassen sich die Böden der verschiedenen Klassifikationen vergleichen, und zwar auf Grund ihrer Eigenschaften und unabhängig vom zufälligen Lokalnamen.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Geologie und Petrographie unterscheiden physikalische und chemische Verwitterung und Bodenbildung. Diese ist in erster Linie beeinflusst durch die Wasserbewegung im Boden und wie die geologischen Tatsachen zeigen, sind sechs Fälle zu unterscheiden. Die chemischen Veränderungen bei der Umwandlung eines Gesteins im Boden lassen sich durch die petrographische Methode und Anwendung der Niggliwerte erfassen; es sind bei der siallitischen oder biogenen Verwitterung oder Bodenbildung vier Auswaschungsfaktoren festgestellt. Weiter zeigt die Mineralogie, dass die Eisenhydroxyde bei der Dehydratation die Farbe wechseln, und zwar von gelb über braun zu rot. Ihre Menge und ihr Wassergehalt bestimmen die Farbe des mineralischen Bodenanteils.

Diese Tatsachen allein aber genügen noch nicht, um einen Boden eindeutig zu charakterisieren. Wie die Bodenkunde zeigt, sind der Humusgehalt, der Gehalt an austauschbaren Basen und die Körnung noch in Rechnung zu setzen.

Kombinieren wir nun diese Tatsachen mit dem Vorschlag von PALLMANN zu einer allgemeinen Bodenklassifikation, so erhalten wir ein natürliches System, in dem alle Böden eingereiht werden können. Wir kennen bereits die Bodenklassen als STREMMES Vegetationsbodentypen und die Tausende von beschriebenen Lokalböden, soil types etc. als Bodenvarietäten. Neu ist die Definition der Bodentypen durch die Perkolationsrichtung, den Humusgehalt, den Gehalt an austauschbaren

Basen und das Perkolat. Zu diesen gehören u. a. die Klimabodentypen LANGS. Diese neuen Bodentypen sind in der Bodenkunde noch nicht beschrieben und daher ungewohnt und werden vorerst gefühlsmässig abgelehnt.

### Literaturverzeichnis

- ALBERT, R. (1930): Regenfaktor oder N-S-Quotient? *Chemie der Erde* 4.
- BLANCK, E. (1949): Einführung in die genetische Bodenlehre. Göttingen.
- GRACANIN, M. (1952): Ein Beitrag zur genetischen Bodenklassifikation. *Revisio Scientificae Agriculturae* 13.
- GLINKA, K. (1914): Die Typen der Bodenbildung. Berlin.
- HARRASSOWITZ, H. (1930): Die Böden der Tropen, in E. BLANCK: *Handbuch der Bodenlehre* III. Berlin.
- JAFFÉ, F. C. (1955): Les ophiolites et les roches connexes de la région du Col des Gets. *Schweiz. Min. u. Petr. Mitt.* 35/1.
- JENNY, H. (1926): Die alpinen Böden. *Denkschriften der Schweiz. Naturf. Ges.* 63/2.
- (1929): Klima und Klimabodentypen in Europa und den Vereinigten Staaten von Nordamerika. *Bodenkundl. Forschungen* 1/3.
- (1941): *Factors of soil formation*. New York und London.
- JOFFÉ, J. S. (1949): *Pedology*. New Brunswick.
- LANG, R. (1915): Versuch einer exakten Bodenklassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. *Int. Mitt. f. Bodenkunde*.
- (1922): Die Verwitterung. *Fortschritte d. Min. Kristallographie u. Petrographie* 7.
- LAUER, W. (1952): Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehungen zu den Vegetationsgürteln. *Bonner Geogr. Abh.* Heft 9.
- MOHR, J. (1944): *Soils of equatorial regions*. Ann Arbor.
- MOHR, J. u. VAN BAREN, F. (1954): *Tropical soils*. Haag.
- MUECKENHAUSEN, E. (1954): Die Beurteilung des Faktors Wasser bei der bodenkundlichen Kartierung. *Forstarchiv* 25/12.
- NIGGLI, P. (1925): Die chemische Gesteinsverwitterung in der Schweiz. *Schweiz. Min. u. Petr. Mitt.* 5/2.
- (1949): *Probleme der Naturwissenschaften*. Basel.
- PALLMANN, H. (1934): Über Bodenbildung und Bodenserien in der Schweiz. *D. Ern. d. Pfl.* 30/13—14.
- (1947): *Pédologie et Phytosociologie*. C. R. Congr. Péd.
- PALLMANN, H., RICHARD, F. u. BACH, R. (1949): Über die Zusammenarbeit von Bodenkunde und Pflanzensoziologie. 10. Kongr. Zürich d. Int. Verb. forstl. Versuchsanstalten.
- RAMANN, E. (1911): *Bodenkunde*, Berlin.
- SCHAUFELBERGER, P. (1950): Wie verläuft die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung in den Tropen, insbesondere in Kolumbien? *Schweiz. Min. u. Petr. Mitt.* 30/2.
- (1951): Die roten und gelben Böden, insbesondere der Tropen. *Z. f. Pflanzenern., Düngung u. Bodenkunde* 54/2.

- SCHAUFFELBERGER, P. (1952): Die Klimabodentypen des tropischen Kolumbiens. Vierteljahresschr. d. Naturf. Ges. in Zürich 97.
- (1954): Verwitterung und Bodenbildung auf basischen Eruptivgesteinen. Schweiz. Min. u. Petr. Mitt. 34/2.
- (1955 a): Die Farben der Tropenböden. Z. f. Pflanzenern., Düngung u. Bodenkunde. 70/1.
- (1955 b): Zur Systematik der Tropenböden. Vierteljahresschr. d. Naturf. Ges. in Zürich 100.
- (1955 c): Vierzig Jahre Regenfaktoren. Ebenda.
- (1955 d): Algunos grandes grupos de los suelos colombianos. Boletín Informativo VI/67.
- (1955 e): Tonbildung in tropischen Böden. Schweiz. Min. u. Petr. Mitt. 35/1.
- SCHEFFER, F. u. SCHACHTSCHNABEL, P. (1952): Bodenkunde. Stuttgart.
- STREMMER, H. (1926): Grundzüge der praktischen Bodenkunde. Berlin.
- VAGELER, P. (1930): Tropische Roterden. D. Ern. d. Pfl. 26/15.

Eingegangen: 3. Mai 1956.