

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

**Band:** 40 (1960)

**Heft:** 2

**Artikel:** Die Lössböden

**Autor:** Schaufelberger, Paul

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-31159>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.10.2024

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

# Die Lössböden

Von *Paul Schaufelberger* (Chinchiná, Kolumbien)

## 1. Problemstellung

Die konventionelle Bodenkunde kennt manche Böden, über die eine umfangreiche Literatur existiert, aber eine genaue Definition fehlt. Zu diesen gehört auch der Tschernosem der gemässigten Zone. Ist es ein Waldboden, wie manche behaupten, oder ein waldfeindlicher, wie andere feststellen? Ist seine Bildung an ein bestimmtes Klima gebunden, wie in der Literatur oft gesagt wird? Ist es ein Klimaboden, wie manche annehmen? Ganz sicher ist nicht einmal, ob der Tschernosem sich nur auf Löss bildet. Ebenso umstritten ist die Frage, ob alle Tschernoseme Kalkkonkretionen aufweisen.

Wir wollen nun annehmen, dass unter Tschernosemen *Lössböden* verstanden seien und versuchen, ob sich aus Analysen und Beschreibungen diese Lössböden irgendwie klassieren lassen und ob da Geologie und Petrographie, als Mutterwissenschaften der Bodenlehre, Klarheit bringen können.

Es ist mir ein aufrichtiges Bedürfnis, auch an dieser Stelle meinem langjährigen Freund und Kollegen, Herrn Chefgeologe Dr. E. Scherf in Budapest, meinen besten Dank auszusprechen, dass er mir aus hier nicht zugänglicher Literatur solche Analysen heraussuchte und mir zur Verfügung stellte.

## 2. Löss

In der Geologie wird der Löss folgendermassen definiert: „Erbsengelbes, mehlfines, ungeschichtetes Sediment mit vorherrschenden Korngrössen zwischen 0,01—0,05 mm, bestehend aus winzigen Quarz-, Feldspat- und Kalksplitterchen, denen sich Glimmer, Tonsubstanz und anderes zugesellen. Löss bildet häufig senkrechte Wände. Häufig findet man im Löss kleine Landschneckengehäuse sowie Reste pleistozäner Säuge-

tiere (Mammut, Nashorn, Wildpferd u. a.). In Oberflächennähe ist der Löss durch Sickerwässer seines Kalkgehaltes beraubt; die Silikate sind in Tonsubstanz übergeführt worden. Durch kolloidal verteiltes Brauneisen ist das Gestein braun gefärbt. In geringer Tiefe hat sich der Kalk in unregelmässigen Knollen wieder ausgeschieden.“ Über seine chemische Zusammensetzung geben einige der Literatur entnommene Analysen Auskunft (Tab. 1).

Tabelle 1. *Chemische Zusammensetzung des Lösses*

|                                | USA   | Harz  | Polen | Schweiz | Neu-Mexiko | Neu-seeland | Neu-seeland |
|--------------------------------|-------|-------|-------|---------|------------|-------------|-------------|
|                                | %     | %     | %     | %       | %          | %           | %           |
| SiO <sub>2</sub>               | 64,61 | 68,18 | 77,54 | 69,43   | 26,67      | 59,30       | 53,68       |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,40  | 0,79  | n. b. | 0,81    | —          | —           | —           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,64 | 7,80  | 7,22  | 11,25   | 0,91       | 18,00       | 18,44       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,66  | 1,78  | 5,02  | 5,37    | 0,64       | 4,24        | 6,54        |
| FeO                            | 0,51  | 0,41  | —     | 0       | —          | —           | —           |
| Mn                             | 0,05  | 0,10  | 0,04  | 0,13    | Sp.        | —           | —           |
| MgO                            | 3,69  | 1,41  | 1,19  | 0,21    | 0,51       | 0,98        | 1,52        |
| CaO                            | 5,41  | 5,92  | 9,10  | 1,25    | 36,40      | 2,16        | 0,95        |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,35  | 1,15  | 0,87  | 0,80    | Sp.        | 1,59        | 1,67        |
| K <sub>2</sub> O               | 2,06  | 2,05  | 1,74  | 1,53    | Sp.        | 2,64        | 2,58        |

Das Muttergestein des Tschernosem ist sehr verschieden zusammengesetzt, und der gute Ruf der Lössböden dürfte weniger auf die chemischen, als auf die physikalischen Eigenschaften des Ursprungsgesteins zurückzuführen sein.

### 3. Waldböden

*Morphologisch* erkennt man die Waldböden in der Regel am vollständigen Bodenprofil: 1. Oberboden oder A-Horizont, 2. Unterboden oder B-Horizont und 3. Muttergestein oder C-Horizont. *Dynamisch* sind sie dadurch charakterisiert, dass das Wasser nach der Tiefe versickert. Das Regenwasser bewegt sich mehr oder weniger senkrecht durch Ober- und Unterboden und in Spalten und Rissen durch das Muttergestein bis zu einer undurchlässigen Schicht, auf der es sich seitlich bewegt und als Quelle austritt. Die beiden Bodenhorizonte werden mehr oder weniger ausgelaugt; sie sind *eluvial*. Die Oberböden sind nie vernässt, und die Böden bilden zusammen die *endoperkolative Bodenklasse* (SCHAUFELBERGER, 1956).

Die endoperkolativen Waldböden sind gekennzeichnet durch einen bestimmten Humusgehalt, einen bestimmten Gehalt an austauschbaren Basen und einen bestimmten Auswaschungsfaktor. Die wichtigsten sind die basenreichen Lithosols und die basenarmen Klimasols (Tabelle 2).

Tabelle 2. *Klassifikation der Waldbodentypen*

| <i>Klimasols</i>   |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
| endoperkolativ<br>humusarm<br>basenarm<br>+ si - c - alk<br><i>Kaktussol</i> | endoperkolativ<br>humusarm<br>basenarm<br>+ si + c - alk<br><i>Bambussol</i>                   | endoperkolativ<br>humusreich<br>basenarm<br>+ si + c + alk<br><i>Humussol</i>                      | endoperkolativ<br>humusreich<br>basenarm<br>+ si - c + alk<br><i>Waldsol</i> | endoperkolativ<br>humusreich<br>basenarm<br>+ si - c - alk<br><i>Urwaldsol</i> |
|  | endoperkolativ<br>humusarm<br>endoperkolativ<br>basenreich<br>+ si - c + alk<br><i>Calisol</i> | endoperkolativ<br>humusreich<br>endoperkolativ<br>basenreich<br>+ si - c + alk<br><i>Quindisol</i> |  |  |

*Lithosols*

Wenn sich nun auf Löss Waldböden bilden, so müssen sich diese auf die Bodentypen der Tabelle 2 verteilen. Mit Ausnahme des humiden Klimas erkennt man den Bodentyp am Humusgehalt und am Auswaschungsfaktor. Im folgenden sollen nun die Bodenanalysen von Lössböden nach der Befeuchtung geordnet und gedeutet werden.

**3a. Lösswaldböden des ariden Klimas**

In der Literatur fanden sich zwei Lössböden mit Regenfaktoren unter 40, also aus dem ariden Bereich (Tabelle 3).

Tabelle 3. *Lössböden des ariden Klimas*

|          | si   | al   | fm   | c    | alk  |          |
|----------|------|------|------|------|------|----------|
| a) Boden | 285  | 36   | 30   | 18   | 16   | USA      |
| Löss     | 102  | 12   | 13,5 | 68,5 | 5    |          |
| Q        | 2,79 | 3,00 | 2,23 | 0,26 | 3,20 |          |
| b) Boden | 179  | 20   | 40,5 | 25   | 16,5 | Russland |
| Löss     | 150  | 17   | 33   | 36   | 14   |          |
| Q        | 1,19 | 1,18 | 1,25 | 0,65 | 1,15 |          |

Beide Böden zeigen die Auslaugung von Calcium und nach dem Gesetz von Jenny (SCHAUFELBERGER, 1959a, 1959b) ist zu erwarten, dass sie auch basenreich sind. Die Literatur kennt und beschreibt sie als Sierosem, grauer Wüstenboden, Kastanienboden, Braunerde, Pedocal usw.

Dass sich im ariden Klima auf Löss auch Klimasols finden, erfahren wir von H. WILHELMY:

„Dennoch zeigt die Untersuchung der Böden unter einem vor 250 Jahren von Zar Peter I. bei Taganrog angepflanzten Eichenwald, dass selbst in der südlichen Trockensteppe künstlich geschaffene Waldböden podsolisieren. Die Entkalkung des Lösses scheint, sobald Baumbestände den Bodenwasserhaushalt ändern und beim Abbau der Waldstreu grosse Säuremengen produziert werden, schnell fortzuschreiten. Es entsteht ein basenarmer, lehmiger Oberboden, auf dem es nunmehr zur Rohhumusbildung, zur Beseitigung des lockeren Schwammgefüges und zu einer stärkeren mechanischen Durchschlämmung kommt. Die oberen 3 m des Waldbodenprofils unter der Mariupoler Versuchspflanzung beschreibt G. MACHOW wie folgt:

- 0 —1,10 m Lehmiger Tschernosem mit 80 cm mächtigem Humushorizont, darunter Löss (0,80—1,10 m) mit Gängen von Bodentieren.  
 1,10—2,80 m Brauner, lehmiger Lössboden mit Karbonathorizont in 1,10—1,50 m Tiefe.“

Ob es sich um einen Waldboden oder einen Steppenboden handelt, muss das Bodenprofil entscheiden. Die konventionelle Bodenkunde bezeichnet den A-Horizont als eluvial und den B-Horizont als illuvial. E. P. WHITESIDE bezeichnet mit E Eluvial- und mit I Illuvialhorizonte, h bedeutet Humus und k Kalk im betreffenden Horizont. In der Dynamik wird mit Aen ein endoperkolativer Oberboden, mit B der Unterboden und mit C das Muttergestein bezeichnet. Das Bodenprofil ist bis zur obersten Grundwasser- bzw. bis zur obersten Zementationszone aufgenommen. Der oben beschriebene russische Eichenwaldboden ist ausgewaschen, weil er dem Kaktussol, mit dem Auswaschungsfaktor  $+si - c - alk$ , entspricht. Dieses Perkolat kennt aber die konventionelle Bodenkunde nur vom Podsol des perhumiden Klimas, der aber humusreich ist. Was sagt nun das Bodenprofil aus?

| Horizont      | Bodenkunde     | WHITESIDE | Dynamik   |
|---------------|----------------|-----------|-----------|
| Humushorizont | A <sub>1</sub> | Eh        | Aen       |
| Löss          | A <sub>2</sub> | E         | C         |
| Kalkhorizont  | B              | Ik        | —         |
| Deutung       | Steppenboden   | Waldboden | Waldboden |

Hier haben wir ausnahmsweise einen Waldboden mit A-C-Profil; in einem feuchteren Klima würde er vielleicht zeitweise vernässen. Der

Kalkhorizont ist ein *Kalkortstein*; er entspricht der *Zementationszone* und auf ihm liegt die *untere Bodengrenze*. Hätte sich ein Eisen- oder Humusortstein gebildet, so würde es sich, nach der konventionellen Bodenkunde, um einen „Podsol“ handeln. Der Eisenanreicherungshorizont des echten Podsols des perhumiden Klimas ist keine Zementationszone, sondern ein Eluvialhorizont, der wasserdurchlässig ist und bleibt.

*Auf Löss existieren im ariden Bereich der basenreiche Lithosol und der basenarme Klimasol.*

### 3b. Lösswaldböden im semiariden Klima

Bei Regenfaktoren zwischen 40 und 60 ist die Befeuchtung für die Landwirtschaft günstiger, und hier finden wir Getreideäcker. Dadurch sind auch die Bodenanalysen etwas zahlreicher (Tabelle 4).

Die Böden a bis e sind dieselben Calisols, die wir schon im ariden Klima kennengelernt haben; diejenigen f und g zeigen die Abwanderung der Alkalien. *Diese Bambussols unterscheiden sich durch den Chemismus vom Calisol und Kaktussol, aber die konventionelle Bodenkunde ignoriert sie.*

Tabelle 4. *Lösswaldböden des semiariden Klimas*

|          | si   | al   | fm   | c    | alk  |             |
|----------|------|------|------|------|------|-------------|
| a) Boden | 473  | 44   | 27,5 | 11,5 | 17   | USA         |
| Löss     | 364  | 29,5 | 22   | 35,5 | 13   |             |
| Q        | 1,30 | 1,49 | 1,25 | 0,32 | 1,31 |             |
| b) Boden | 439  | 50   | 19,5 | 8,5  | 22   | USA         |
| Löss     | 310  | 26,5 | 23,5 | 32   | 18   |             |
| Q        | 1,45 | 1,83 | 0,83 | 0,26 | 1,22 |             |
| c) Boden | 525  | 46   | 22   | 10   | 22   | USA         |
| Löss     | 346  | 42   | 27   | 16   | 15   |             |
| Q        | 1,59 | 1,09 | 0,81 | 0,62 | 1,47 |             |
| d) Boden | 850  | 44   | 19,5 | 12,5 | 29   | Deutschland |
| Löss     | 383  | 25   | 21   | 41   | 13   |             |
| Q        | 2,22 | 1,76 | 1,96 | 0,31 | 1,57 |             |
| e) Boden | 494  | 36,5 | 35,5 | 29   | 1    | Deutschland |
| Löss     | 178  | 13,5 | 15   | 71   | 0,5  |             |
| Q        | 2,76 | 2,70 | 2,25 | 0,41 | 2,00 |             |
| <hr/>    |      |      |      |      |      |             |
| f) Boden | 592  | 70   | 20,5 | 3,5  | 6    | Deutschland |
| Löss     | 222  | 56   | 12   | 1    | 31   |             |
| Q        | 1,83 | 1,25 | 1,71 | 3,50 | 0,19 |             |
| g) Boden | 250  | 40   | 33   | 15,5 | 11,5 | Russland    |
| Löss     | 252  | 42,5 | 33   | 12,5 | 12   |             |
| Q        | 0,99 | 0,94 | 1,00 | 1,25 | 0,96 |             |

## 3c. Lösswaldböden des semihumiden Klimas

Diese Befeuchtung mit den Regenfaktoren zwischen 60 und 100 ist für die Landwirtschaft im allgemeinen am günstigsten, und der fruchtbare Lösswaldboden wird dann besonders geschätzt. Hier ist der Wald meist gerodet, und der Boden wird als Ackerland benützt. Den Klimasol überlässt man den Wäldern oder benützt ihn als Weide. Hier hat die konventionelle Bodenkunde herausgefunden, dass sich auf Löss zwei verschiedene Bodentypen entwickelt haben; man spricht von „Tschernosem“ und „degradiertem Tschernosem“. Dieser letztere entspricht dem basenarmen Klimasol. Beide Waldböden unterscheiden sich auch durch den Chemismus (Tabelle 5).

Tabelle 5. Waldböden des semihumiden Klimas

|          | si   | al   | fm   | c    | alk  |          |
|----------|------|------|------|------|------|----------|
| a) Boden | 556  | 47   | 25   | 10   | 18   | Russland |
| Löss     | 440  | 42   | 30   | 13   | 15   |          |
| Q        | 1,22 | 1,12 | 0,83 | 0,77 | 1,20 |          |
| b) Boden | 672  | 44,5 | 24   | 11,5 | 20   | Russland |
| Löss     | 375  | 30   | 28   | 30   | 12   |          |
| Q        | 1,8  | 1,48 | 0,86 | 0,39 | 1,66 |          |
| c) Boden | 231  | 48,5 | 29,5 | 11   | 11   | Russland |
| Löss     | 178  | 31,5 | 21   | 39,5 | 8    |          |
| Q        | 1,30 | 1,54 | 1,40 | 0,28 | 1,37 |          |
| d) Boden | 499  | 42,5 | 28   | 11   | 17,5 | Russland |
| Löss     | 286  | 29   | 20   | 40,5 | 10,5 |          |
| Q        | 1,74 | 1,50 | 1,40 | 0,27 | 1,66 |          |
| e) Boden | 221  | 22   | 45   | 25   | 8    | Russland |
| Löss     | 12   | 3    | 13   | 83   | 1,5  |          |
| Q        | 18,4 | 7,33 | 3,46 | 0,30 | 5,33 |          |
| f) Boden | 335  | 45   | 31   | 9    | 15   | Russland |
| Löss     | 236  | 31,5 | 30   | 29   | 9,5  |          |
| Q        | 1,31 | 1,43 | 1,03 | 0,31 | 1,58 |          |
| g) Boden | 505  | 43   | 28   | 11   | 17   | Russland |
| Löss     | 264  | 29   | 21   | 40   | 10   |          |
| Q        | 1,91 | 1,48 | 1,33 | 0,27 | 1,70 |          |
| h) Boden | 520  | 41,5 | 26,5 | 10   | 22   | USA      |
| Löss     | 325  | 34   | 27,5 | 24,5 | 14   |          |
| Q        | 1,60 | 1,22 | 1,96 | 0,41 | 1,57 |          |
| <hr/>    |      |      |      |      |      |          |
| i) Boden | 361  | 47,5 | 35,5 | 5,5  | 10,5 | Ungarn   |
| Löss     | 372  | 48   | 37   | 4    | 9    |          |
| Q        | 0,97 | 0,99 | 0,91 | 1,33 | 1,17 |          |

|          | si   | al   | fm   | c    | alk  |          |
|----------|------|------|------|------|------|----------|
| j) Boden | 685  | 45,5 | 24   | 11   | 19,5 | Russland |
| Löss     | 475  | 38   | 35   | 11   | 16   |          |
| Q        | 1,44 | 1,20 | 0,69 | 1,00 | 1,22 |          |
| k) Boden | 250  | 40   | 32,5 | 15,5 | 12   | Russland |
| Löss     | 254  | 42,5 | 33   | 12,5 | 12   |          |
| Q        | 0,98 | 0,94 | 0,98 | 1,24 | 1,00 |          |
| l) Boden | 675  | 51,5 | 20,5 | 7,5  | 20,5 | USA      |
| Löss     | 571  | 50   | 27,5 | 6    | 15,5 |          |
| Q        | 1,18 | 1,03 | 0,75 | 1,25 | 1,24 |          |
| m) Boden | 552  | 50   | 17,5 | 10   | 22,5 | USA      |
| Löss     | 404  | 40,5 | 33   | 9,5  | 17   |          |
| Q        | 1,36 | 1,23 | 0,55 | 1,05 | 1,25 |          |
| n) Boden | 456  | 46   | 23   | 11   | 20   | USA      |
| Löss     | 386  | 41   | 29   | 11   | 19   |          |
| Q        | 1,19 | 1,12 | 0,79 | 1,00 | 1,01 |          |
| o) Boden | 626  | 45,5 | 24,5 | 9    | 21   | USA      |
| Löss     | 501  | 45   | 27,5 | 7,5  | 20   |          |
| Q        | 1,22 | 1,01 | 0,89 | 1,20 | 1,05 |          |

Die Böden a bis h zeigen den Auswaschungsfaktor  $+si - c + alk$ , der dem Quindísol entspricht. Dieser ist in der konventionellen Bodenkunde als Tschernosem, Braunerde, grauer Waldboden, podsolierte Braunerde, Rendiza, Humuskarbonatboden, terra rossa, terra roxa usw. bekannt.

Die Böden i bis o besitzen das Perkolat  $+si + c + alk$  des Humussols, dem Klimasol des semihumiden Klimas, den die konventionelle Bodenkunde ebenfalls ignoriert. Aus Deutschland ist er als rostfarbener Waldboden beschrieben, aus der USA als Tschernosem, Roterde und Waldsteppenboden.

### 3d. Systematik der Waldböden auf Löss

Alle diese Böden sind normal drainiert und gehören zu der Klasse der endoperkolativen Böden (SCHAUFELBERGER, 1955a, 1958a); sie unterscheiden sich durch den Humusgehalt, den Gehalt an austauschbaren Basen und den Auswaschungsfaktor, wie Tabelle 2 zeigt. Nach der Systematik haben sich im Löss folgende Böden gebildet:

| Befeuchtung | arid               | semiarid             | semihumid            |
|-------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Regenfaktor | unter 40           | 40—60                | 60—100               |
| Lithosol    | 2 Calisols, Tab. 3 | 5 Calisols, 4a—4e    | 8 Quindísoles, 5a—5h |
| Klimasol    | 1 Kaktussol        | 2 Bambussols, 4f, 4g | 7 Humussols, 5i—5o   |



Die als Tschernoseme auf Löss bezeichneten Böden sind Lithosols oder Pedocals der USA oder Klimasols. „*Tschernosem*“ ist kein einheitlicher Bodentyp, sondern jeder muss erst systematisch klassiert werden. Diese Tatsache zeigt eindeutig, warum die konventionelle Bodenkunde diesen Boden nicht klar und eindeutig definieren konnte und kann.

### 3e. Genetik der Waldlössböden

Nach dem Pallmannschen Gesetz (SCHAUFELBERGER, 1959 a, 1959 b) geht bei den endoperkolativen Böden die Bodenbildung vom Rohboden über den unreifen zum reifen, degradierenden und degradierten Boden.

Der *Rohboden* entspricht dem Muttergestein Löss, über dessen chemische Zusammensetzung Tabelle 1 orientiert. Diese Lockermasse wird zum Pflanzenstandort, sobald Samen auf ihn fallen und die Befeuchtung ihn zum Keimen bringt. Nach und nach bildet sich Humus; die Mikroorganismen beeinflussen die edaphischen Prozesse, und es kommt zur Horizontbildung. Bei Abwesenheit der Organismen ist die Oberflächenverwitterung allitisch, und die Lebewesen stellen sie dann auf sialitisch um; bei jener wandert die Kieselsäure ab, bei dieser wird sie angereichert. Es sind also Pflanzenstandorte zu erwarten, wo die Analysen eine allitische Verwitterung anzeigen. Wir bezeichnen sie als *unreife Böden* und finden sie im semihumiden Klima auf Löss und vulkanischen Aschen (Tabelle 6).

Die *reifen Böden* entsprechen dem basenreichen Quindiosol mit dem Auswaschungsfaktor +si - c + alk und die *degradierten* dem basenarmen

Tabelle 6. *Unreife Böden auf Löss und Andesitasche*

|                   | si   | al   | fm   | c    | alk  |             |
|-------------------|------|------|------|------|------|-------------|
| a) Unreifer Boden | 240  | 38   | 21   | 21,5 | 19,5 | Russland    |
| Löss              | 287  | 51   | 28   | 4    | 16   |             |
| Q                 | 0,83 | 0,71 | 0,75 | 5,37 | 1,22 |             |
| b) Unreifer Boden | 237  | 39   | 27   | 15   | 19   | Long Eiland |
| Andesitasche      | 304  | 40   | 21   | 14   | 25   |             |
| Q                 | 0,78 | 0,97 | 1,28 | 1,07 | 0,79 |             |
| c) Laterit        | 170  | 56   | 43   | 0    | 1    | Java        |
| Andesit           | 270  | 26   | 35   | 24   | 11   |             |
| Q                 | 0,63 | 1,93 | 1,14 | 0    | 0,09 |             |
| d) Unreifer Boden | 170  | 34   | 29   | 16   | 21   | Kolumbien   |
| Andesitasche      | 217  | 36,5 | 34   | 10   | 19,5 |             |
| Q                 | 0,78 | 0,93 | 0,85 | 1,60 | 1,07 |             |

Humussol mit dem Perkolat  $+si + c + alk$ . Bei der *Degradierung* ändert sich der Gehalt an austauschbaren Basen und, mit Ausnahme des humiden Klimas, der Auswaschungsfaktor. Aus dem ariden Klima Kolumbiens kennt man auf Diabas basenreiche Böden mit dem Auswaschungsfaktor  $+si - c - alk$ ; dieser Boden hat den Basengehalt des Lithosols mit dem Perkolat des Klimasols. Er bildet einen Übergang von einem Bodentyp zum andern. Ob dies die Regel ist, können erst weitere Untersuchungen zeigen.

Bei den endoperkolativen Böden ändert sich mit der Zeit auch die Farbe des Unterbodens von grau über gelblich, gelb und braun zu rot. Man kennt graue (Sierosem, grauen Wüstenboden) und braune (Kastanienboden) Calisols. Man weiss auch, dass der Tschernosem sich in Braunerde verwandelt. Bekannt ist auch die Tatsache, dass man in Westeuropa auf Löss nicht den Tschernosem findet, sondern basenarme sols lessivés. Auch die Genetik zeigt, dass im selben Klima auf Löss verschieden entwickelte Böden zu erwarten sind, die zu Sukzessionsserien vereint werden. Es handelt sich um verschiedene Bodentypen, aber die konventionelle Bodenkunde hat dafür nur die Namen Tschernosem oder Pedocals.

#### 4. Waldfeindliche Böden

##### 4a. Systematik der waldfeindlichen Böden

Aus Russland kennt man Tundra- und Steppenböden. In Ungarn heissen sie Szikböden und in Deutschland Gley- und Paragleyböden. Die Holländer unterscheiden Eluvial- und Illuvialböden. Aus Nordamerika kennt man sie als Prärien- und aus Südamerika als Pampaböden. In den Tropen der Alten Welt heissen sie Schwarzerden. Das sind alles Sammelnamen für baumfeindliche Böden der Ebenen; oft werden noch die Moore dazugezählt. Sehen wir von diesen ab, so weiss man, dass die baumfeindlichen Böden manchmal zeitweise vernässen, andere nicht. Ebenso steht fest, dass es unter ihnen eluviale und illuviale Böden hat. Nach diesen zwei Merkmalspaaren lassen sich die waldfeindlichen Böden leicht auf vier Bodenklassen verteilen (Tabelle 7).

Im Profil dieser Böden findet man meist in geringer Tiefe eine Tonschicht oder eine Ortsteinbildung. Die konventionelle Bodenkunde bezeichnet diesen als „illuvialen B-Horizont“. Nach dem Gesetz von van Hise-Glinka (SCHAUFELBERGER, 1959a, 1959b) ist es die Zementationszone unter dem obersten Grundwasser. Nun verdanken wir WHITESIDE

genaue Definitionen und Bezeichnungen der Horizonte; es können deshalb die Ortsteine genau erkannt werden. In der Morphologie wird nun entschieden, wo die untere Bodengrenze im Profil verläuft (Tabelle 8).

Tabelle 7. *Die Bodenklassen der waldfeindlichen Böden*

| <i>Oberboden nie vernässt</i>       |                            |                           |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| STREMME                             | Eluviale Böden (S < T)     | Illuviale Böden (S > T)   |
| WHITESIDE                           | Steppenboden               | Salzboden                 |
| SZABOLCS u. JASSO                   | Eh                         | Ih                        |
| Dynamik                             | Szik                       | Salzboden                 |
|                                     | amphiperkolativ (Aam)      | exoperkolativ (Aex)       |
| <i>Oberboden zeitweise vernässt</i> |                            |                           |
| STREMME                             | Eluviale Böden (S < T)     | Illuviale Böden (S > T)   |
| WHITESIDE                           | Mineralnassboden           | Anmoorboden               |
| Dynamik                             | Ehwo                       | Ihwo                      |
|                                     | peri-endoperkolativ (Apen) | peri-exoperkolativ (Apex) |

Tabelle 8. *Morphologie der waldfeindlichen Böden*

| Bodenprofil                             | Bodenkunde     | WHITESIDE | Dynamik |
|---|----------------|-----------|---------|
| <i>Wiesenboden mit Kalkortstein</i>     |                |           |         |
| Oberboden                               | A <sub>1</sub> | Ehwo      | Apen    |
| Unterboden                              | A <sub>2</sub> | E         | B       |
| Kalkortstein                            | B              | Ik        | —       |
| <i>Steppenboden mit Kalkortstein</i>    |                |           |         |
| Oberboden                               | A              | Eh        | Aam     |
| Kalkortstein                            | B              | Ik        | —       |
| <i>Wiesenboden mit Lateritortstein</i>  |                |           |         |
| Oberboden                               | A <sub>1</sub> | Ehwo      | Apen    |
| Unterboden                              | A <sub>2</sub> | E         | B       |
| Laterit                                 | B              | R         | —       |
| <i>Steppenboden mit Lateritortstein</i> |                |           |         |
| Oberboden                               | A              | Eh        | Aam     |
| Laterit                                 | B              | R         | —       |
| <i>Salzboden mit Lateritortstein</i>    |                |           |         |
| Oberboden                               | B <sub>1</sub> | Ih        | Aex     |
| Unterboden                              | B <sub>2</sub> | I         | B       |
| Laterit                                 | A              | R         | —       |
| <i>Szik über salzigem Ton</i>           |                |           |         |
| Oberboden                               | A              | Eh        | Aam     |
| Ton                                     | B              | Its       | —       |

*Die Bodenprofile von WHITESIDE und der Dynamik zeigen, dass die Definitionen der konventionellen Bodenkunde: A-Horizont = eluvial und B-Horizont = illuvial revisionsbedürftig sind.*

Die zum Solum gehörenden Horizonte müssen dieselbe Wasserbewegung haben; sie sind entweder eluvial oder illuvial. Findet man im Bodenprofil eluviale und illuviale Horizonte, so muss zwischen beiden eine wasserundurchlässige Scheidewand verlaufen, die untere Bodengrenze. Bis zu dieser nimmt die Dynamik das Bodenprofil auf, während nach dem Vorschlag von WHITESIDE die Tonschicht oder die Ortsteinbildung leicht zu erkennen ist, und auf ihr verläuft die untere Bodengrenze.

#### 4 a 1. Klassifikation von SZABOLCS und JASSO

SZABOLCS und JASSO machen zur Klassifikation der Szikböden folgenden Vorschlag: „Die Abgrenzung der Subtypen und Varietäten erfolgte nicht nach starren Kategorien, sondern auf Grund jener wichtigen Eigenschaften, die unter den Bedingungen der Ungarischen Grossen Tiefebene in Erscheinung treten. Während zum Beispiel die einzelnen Subtypen der Solontschak und Solontschak-Solonetzböden nach Menge und Art der löslichen Salze abgetrennt wurden, erfolgte die Einstufung der Subtypen bei den Solonetzböden nach der Tiefe des A-Horizontes. Auf Grund ähnlicher Prinzipien wurde sinngemäss die Mächtigkeit der Humusschicht, der Kalziumkarbonat-Horizont usw. berücksichtigt. Bei der Abgrenzung bedeutete auch der Anteil an Natrium-Ionen in den austauschbaren Kationen einen wichtigen Gesichtspunkt. Falls innerhalb sämtlicher austauschbarer Kationen die Natrium-Ionen 20—25% überschreiten, wird der Boden als Solonetz, bei weniger als 20% aber mehr als 5% als solonetzig bezeichnet.“

Das modifizierte System Pallmann (SCHAUFELBERGER, 1955 b) sagt über die *Bodenvarietäten*:

„Bei den Salzböden spielt die einseitige Absättigung der Umtauschkomplexe durch K-, Na-, Ca- oder Mg-Ionen eine wichtige Rolle bei der Klassifizierung, ebenso die Zusammensetzung der freien Salze in der Bodenlösung“. Die von SZABOLCS und JASSO vorgeschlagene Klassifikation der Szikböden läßt in das modifizierte System Pallmann einbauen.

Tabelle 9. *Systematische Klassifikation von Wald- und Szikböden*

| Kategorie        | Waldböden            | Szikböden                                   |
|------------------|----------------------|---|
| Bodenklasse      | Perkolationsrichtung | Perkolationsrichtung                        |
| Bodenordnung     | Humusgehalt          | Humusgehalt                                 |
| Bodenverband     | Basengehalt          | Basengehalt                                 |
| Bodentyp         | Auswaschungsfaktor   | —   |
| Bodenuntertyp    | Farbe                | —   |
| Bodenart         | Körnung              | —   |
| Bodengruppe      |                      | Zusammensetzung<br>der austauschbaren Basen |
| Bodenuntergruppe |                      | Tiefe des Solums                            |
| Bodenvarietät    |                      | Anionenzusammensetzung                      |

Tabelle 10. *Bodengruppen der waldfeindlichen Böden**Klasse der peri-endoperkolativen Mineralnassböden*

|                             | Na- u. Mg-arm  | Na-haltig    | Na-reich      |
|-----------------------------|----------------|--------------|---------------|
| Humusarm, basenarm          | Aganfonoffsoel | Albaredasoel | Albertsoel    |
| Humusarm, basenreich        | Ballsoel       | Bauersoel    | Benettsoel    |
| Humusreich, basenarm        | Cameronsoel    | Candollesoel | Carpentersoel |
| Humusreich, basenreich      | Daltonsoel     | Deansoel     | Demolonsoel   |
| Sehr humusreich, basenarm   | Eatonsoel      | Ecksteinsoel | Ehrenbergsoel |
| Sehr humusreich, basenreich | Fabersoel      | Falonssoel   | Fausersoel    |

*Klasse der peri-experkolativen Anmoorböden*

|                             |                  |                  |               |
|-----------------------------|------------------|------------------|---------------|
| Humusarm, basenarm          | Ganssensoel      | Gedroixsoel      | Gessnersoel   |
| Humusarm, basenreich        | Hardysoel        | Harrassowitzsoel | Helriegelsoel |
| Humusarm, basenüberreich    | Jacksoel         | Jägersoel        | Jakobsoel     |
| Humusreich, basenarm        | Kappensoel       | Kelleyssoel      | Kelloggsoel   |
| Humusreich, basenreich      | Laatschsoel      | Langsoel         | Lawessoel     |
| Humusreich, basenüberreich  | Marbutsoel       | Meigensoel       | Meyersoel     |
| Sehr humusreich, basenarm   | Nagelschmittsoel | Neubauersoel     | Niggli-soel   |
| Sehr humusreich, basenreich | Odénsoel         | Oggsoel          | Olbertzsoel   |
| Sehr humusr., basenüberra.  | Pallmannsoel     | Paracelsussoel   | Passargesoel  |

*Klasse der amphiperkolativen Steppenböden*

|                        |                |             |              |
|------------------------|----------------|-------------|--------------|
| Humusarm, basenarm     | Ramannsoel     | Remysoel    | Riesersoel   |
| Humusarm, basenreich   | Salysburyssoel | Sägersoel   | Saussuresoel |
| Humusreich, basenarm   | Scharrersoel   | Scheelesoel | Scheffersoel |
| Humusreich, basenreich | Shalsoel       | Shantzsoel  | Sharpsoel    |

*Klasse der exoperkolativen Salzsteppenböden*

|                            |                |                  |                  |
|----------------------------|----------------|------------------|------------------|
| Humusarm, basenarm         | Stebuttsoel    | Stefanvovitssoel | Stewartsoel      |
| Humusarm, basenreich       | Szabolcssoel   | Sabosoel         | Szebényssoel     |
| Humusarm, basenüberreich   | Tomsonsoel     | Taylerssoel      | Thaersoel        |
| Humusreich, basenarm       | Vagelersoel    | van Bemmelensoel | v. d. Merwessoel |
| Humusreich, basenreich     | Wagenersoel    | Waksmanssoel     | Walleriussoel    |
| Humusreich, basenüberreich | Zacharowassoel | Zappesoel        | Zeunersoel       |

Die Untersuchungen von SZABOLCS und JASSO zeigen, dass bei den waldfeindlichen Böden die *Bodenverbände nicht durch den Auswaschungsfaktor zu unterteilen sind, sondern durch die Zusammensetzung der austauschbaren Basen. Statt der Bodentypen erhalten wir Bodengruppen.* Wir können nun definieren:

*Die Bodengruppe ist durch eine bestimmte Perkolationsrichtung, durch einen bestimmten Humusgehalt, einen bestimmten Basengehalt und eine bestimmte Zusammensetzung der austauschbaren und wasserlöslichen Kationen definiert. Sie wird durch die von WHITESIDE vorgeschlagene Endung -soel charakterisiert.*

|                   |                  |                  |                 |
|-------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Mg-haltig         | Mg-reich         | Na- u. Mg-haltig | Na- u. Mg-reich |
| Altenssoel        | Aranysoel        | Atterbergsoel    | Aubertsoel      |
| Blancksoel        | Boussingaultsoel | Buchanansoel     | Burnottesoel    |
| Clarcksoel        | Combersoel       | Cornusoel        | Corrensoel      |
| Dokutschajeffsoel | Dosdoffsoel      | Du Boissoel      | Düggelsoel      |
| Endellsoel        | Englesoel        | Erhardtsoel      | Eskolasoel      |
| Fehérsoel         | Fischersoel      | Fletschersoel    | Franzsoel       |
| <br>              |                  |                  |                 |
| Glauberssoel      | Glinkasoel       | Gracansoel       | Greenesoel      |
| Hilgardsoel       | Hissingsoel      | Hoppsoel         | Howardsoel      |
| Jennysoel         | Jensonsoel       | Joffesoel        | Jonsessoel      |
| Klappsoel         | Kopeckesoel      | Krassanowsoel    | Kühnsoel        |
| Leiningensoel     | Liebigsoel       | Liechtisoel      | Löhnissoel      |
| Mitscherlichsoel  | Mohrsoel         | Mückenhausensoel | Muirsoel        |
| Nikiforoffsoel    | Niklassoel       | Noaksoel         | Nollsoel        |
| Oldershausensoel  | Orthsoel         | Overstreetsoel   | Owenssoel       |
| Pendletonsoel     | Pereirasoel      | Pfaffsoel        | Prescottsoel    |
| <br>              |                  |                  |                 |
| Robinsonsoel      | Rogersoel        | Romellsoel       | Russellsoel     |
| Senftsoel         | Sibiceffsoel     | Siegelsoel       | Sigmondsoel     |
| Scherfsoel        | Schlössingsoel   | Schollenbergsoel | Schwarzsoel     |
| Shawsoel          | Shermansoel      | Shivesoel        | Shuttsoel       |
| <br>              |                  |                  |                 |
| Stokessoel        | Stoklassoel      | Storzsoel        | Stremmesoel     |
| Székyssoel        | Szelényisoel     | Szepésisoel      | Szücssoel       |
| Toblerssoel       | Treitzsoel       | Truogsoel        | Turnersoel      |
| van Hisesoel      | Vargasoel        | Venemasoel       | Vilenskysoel    |
| Waltherssoel      | Whitesidesoel    | Wiegnersoel      | Wissotzkisoel   |

Nach dem Vorschlage von SZABOLCS und JASSO definieren wir die einzelnen Bodengruppen:

| Bodengruppe                            | % Äquivalente der Kationensumme S |
|--|-----------------------------------|
| 1. Natrium- und magnesiumarme Böden    | < 5% Na und < 5% Mg               |
| 2. Natriumhaltige Böden                | 5—25% Na                          |
| 3. Natriumreiche Böden                 | > 25% Na                          |
| 4. Magnesiumhaltige Böden              | 5—25% Mg                          |
| 5. Magnesiumreiche Böden               | > 25% Mg                          |
| 6. Magnesium- und natriumhaltige Böden | 5—25% Na und 5—25% Mg             |
| 7. Magnesium- und natriumreiche Böden  | > 25% Na und > 25% Mg             |

Die waldfeindlichen Lössböden verteilen sich auf 4 Bodenklassen mit 10 Ordnungen, 25 Verbänden und 175 definierten Bodengruppen, die, wie die Bodentypen, eigene Namen mit der Endung -soel erhalten (Tabelle 10).

SZABOLCS und JASSO unterteilen diese Bodengruppen nach der *Tiefe des Bodens*, die in vielen Fällen nur aus dem A-Horizont besteht. Unterscheidet man nur drei Varietäten, so erhalten wir 525 definierte Lokalböden, deren Muttergestein Löss sein kann und in sehr vielen Fällen auch ist; alle heissen dann nach der konventionellen Bodenkunde Tschernosem.

#### 4 a 2. Bodenklassifikation von ARANY

SZABOLCS und JASSO klassieren die Szikböden nach den *Kationen*, während S. ARANY eine solche nach den Anionen vorschlägt. Er unterscheidet folgende Bodenvarietäten: 1. Sulfate; 2. Chloride; 3. Sulfate und Chloride; 4. Sulfate und Bikarbonate; 5. Chloride und Bikarbonate; 6. Sulfate, Chloride und Bikarbonate; 7. Sulfate und Karbonate; 8. Chloride und Karbonate; 9. Sulfate, Chloride und Karbonate und 10. Karbonate.

Mit dem von ARANY vorgeschlagenen Varietätsmerkmal lassen sich die durch den Vorschlag von SZABOLCS und JASSO definierten 525 Bodenuntertypen in je 10 Varietäten unterteilen, und wir erhalten somit Definitionen für 5250 Bodenindividuen. Jetzt wird man die Klagen der Bodenkundler verstehen, dass es so schwer sei, die Böden der Ebenen zu klassieren, und dass die Versuchung gross ist, sie nach den Muttergesteinen, fluvialen und äolischen Sedimenten und deren Kalkgehalt zu ordnen. Nun zeigt die Systematik die Lösung; *man muss ihre Dynamik berücksichtigen.*

#### 4b. Dynamik der waldfeindlichen Böden

Im schlesischen Lössgebiet fand E. SCHERF Anmoore, Tschernosem, Braunerde und Podsol nebeneinander. Diese Feststellung überraschte, denn damals war die konventionelle Bodenkunde felsenfest überzeugt, dass Tschernosem, Braunerde und Podsol die Klimabodentypen semi-humider, humider und perhumider Bereiche seien, und nun sollten diese drei Klimaböden sich nebeneinander im semiariden Klima bilden. Einzelne Bodenkundler sahen darin den Beweis, dass der Regenfaktor nicht stimme. SCHERF selber gibt folgende Erklärung:

„Also nicht das Luftklima allein ist bestimmend für die Tschernosembildung in diesen Gebieten, sondern (und in viel höherem Masse) das Bodenklima. Welchem nun unter den verschiedenen, stets zusammen wirksamen bodenklimatischen Fak-

toren die Hauptrolle einzuräumen sei, ob es die Vegetation ist (HOHENSTEIN und SCHALOW) oder das Relief (ORTH) oder aber die *Wasserdurchlässigkeit* des Untergrundes und der Bodenkrume, zusammen mit deren *Karbonatgehalt* (JENZSCH und SCHERF), müssen weitere Untersuchungen entscheiden...“

Heute lassen sich diese verschiedenen Bodenbildungen leicht deuten: der Podsol ist der basenarme, die Braunerde der basenreiche Waldboden, also nach Tabelle 2 handelt es sich um einen Bambus- bzw. Calisol des semiariden Klimas. Tschernosem und Anmoor sind zeitweise vernässte eluviale und illuviale, baumfeindliche Böden.

Während die konventionelle Bodenkunde annahm und teilweise noch heute annimmt, dass das Luftklima die Wasserbewegung im Boden bestimme, so erklärt sie SCHERF, wohl als erster, geologisch. Es muss im Bodenprofil der baumfeindlichen Böden in der Nähe der Oberfläche ein *wasserundurchlässiger* Horizont existieren, auf dem sich das Wasser mindestens zeitweise staut, was zur Vernässung des Oberbodens führen kann. In anderen Fällen kann das aufsteigende Kapillarwasser die Eigenschaften des Oberbodens beeinflussen. Auf diesem undurchlässigen Horizont, der unteren Bodengrenze, fließt das Wasser seitlich nach der tiefsten Stelle des *Mikroreliefs*. Bildet dieses eine tellerförmige, abflusslose Mulde, dann stagniert das Wasser. Da es nur durch Verdunsten entweichen kann, kommt es hier zur Salzanreicherung, und es bildet sich ein *Illuvialboden*, der von Eluvialböden umgeben ist. Die hier ausgelaugten Salze werden dort angereichert. *Beide Böden bilden eine Katena*.

Ist die Depression drainiert, dann bilden sich nur Eluvialböden, die basenreich oder basenarm sein können. Die Verhältnisse können sich dadurch komplizieren, dass die Bodenbildung durch *Salzwasser* beeinflusst wird, das unter Umständen reich an Na- und/oder Mg-Ionen sein kann. Solche Fälle kennt man aus Afrika, den USA, den Donaubecken usw.

In der Umgebung von Debrecen findet man einen salzhaltigen Ton, der flache Wellen bildet. In den Mulden ist er mit Löss bedeckt, und dieser entspricht dem Boden. In Weganschnitten beobachtet man die Salzausblühungen im *Untergrunde*, nicht aber aus dem Lössboden. In den Hügeln steht der salzige Ton an, und aus diesem blühen die Salze aus. Hier hat sich aus irgendeinem Grunde *kein* Boden gebildet. Bei Regen werden die Salze auf diesem Ton seitlich in den Löss der Mulden eingespült. Diese sind drainiert, und so bilden sich Eluvialböden mit wechselndem Gehalt an Na- und Mg-Ionen, je nach den örtlichen Verhältnissen.

Sehr oft hat man mit Bewässerung in Ebenen arider Gebiete unerfreuliche Erfahrung gemacht. Bewässert man eine tellerförmige Mulde



Tabelle 11. *Klima und Tschernosembildung*

|                 | J  | F     | M     | A   | M   | J    | J    | A    | S    | O    | N     | D      |
|-----------------|----|-------|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|--------|
| Frankfurt a. M. | N  | 44    | 36    | 40  | 39  | 48   | 57   | 68   | 69   | 51   | 55    | 53 mm  |
|                 | T  | 0,7   | 2,2   | 5,3 | 9,3 | 14,3 | 17,3 | 18,7 | 17,7 | 14,4 | 9,4   | 1,9 °C |
|                 | RF | per   | per   | sh  | sa  | sa   | a    | sa   | sa   | sa   | sh    | h      |
| Köln            | N  | 52    | 45    | 46  | 49  | 52   | 65   | 81   | 70   | 54   | 64    | 63 mm  |
|                 | T  | 2,4   | 3,4   | 5,9 | 9,4 | 14,1 | 16,8 | 18,4 | 17,7 | 14,9 | 10,4  | 3,4 °C |
|                 | RF | per   | per   | sh  | sh  | sa   | sa   | sa   | sa   | sa   | sh    | h      |
| Hannover        | N  | 50    | 38    | 46  | 45  | 54   | 63   | 80   | 75   | 80   | 51    | 49 mm  |
|                 | T  | 0,8   | 1,7   | 4,3 | 8,0 | 13,0 | 15,9 | 17,5 | 16,7 | 13,8 | 9,2   | 2,1 °C |
|                 | RF | per   | per   | h   | sh  | sa   | sa   | sa   | sa   | sh   | sh    | h      |
| Magdeburg       | N  | 37    | 39    | 33  | 36  | 42   | 47   | 68   | 56   | 43   | 42    | 39 mm  |
|                 | T  | 0,1   | 1,0   | 4,2 | 8,4 | 13,8 | 16,8 | 18,4 | 17,4 | 14,1 | 9,1   | 1,4 °C |
|                 | RF | per   | per   | h   | sa  | a    | a    | sa   | a    | a    | sa    | h      |
| Erfurt          | N  | 31    | 23    | 30  | 40  | 52   | 58   | 70   | 57   | 47   | 41    | 30 mm  |
|                 | T  | - 1,1 | 0,1   | 3,4 | 7,4 | 12,5 | 15,4 | 17,0 | 16,2 | 12,9 | 8,2   | 0,5 °C |
|                 | RF | per   | per   | h   | sh  | sa   | sa   | sa   | sa   | sa   | sa/sh | h      |
| Leipzig         | N  | 40    | 33    | 41  | 47  | 60   | 67   | 85   | 67   | 49   | 50    | 42 mm  |
|                 | T  | - 0,3 | 0,7   | 4,0 | 8,9 | 13,6 | 16,8 | 18,4 | 17,5 | 13,9 | 8,8   | 1,1 °C |
|                 | RF | per   | per   | h   | sh  | sa   | sa   | sa   | sa   | sa   | sh    | h      |
| Breslau         | N  | 38    | 29    | 38  | 43  | 60   | 62   | 87   | 68   | 46   | 44    | 38 mm  |
|                 | T  | - 1,1 | - 0,2 | 3,4 | 8,2 | 13,8 | 16,9 | 18,8 | 17,7 | 14,2 | 19,0  | 0,4 °C |
|                 | RF | per   | per   | h   | sh  | sa   | sa   | sa   | sa   | a    | sa    | h      |

|              | J  | F      | M      | A      | M     | J    | J    | A    | S    | O    | N     | D         |
|--------------|----|--------|--------|--------|-------|------|------|------|------|------|-------|-----------|
| Russland I   | N  | 59     | 49     | 46     | 53    | 44   | 67   | 33   | 67   | 47   | 58    | 66 mm     |
|              | T  | - 2,1  | - 0,1  | 5,0    | 10,6  | 16,7 | 20,4 | 22,9 | 17,6 | 12,2 | 5,3   | 1,1 °C    |
|              | RF | per    | per    | h      | sa    | a    | sa   | a    | sa   | sa   | h     | per       |
| Russland II  | N  | 35     | 36     | 33     | 34    | 43   | 62   | 31   | 31   | 33   | 38    | 39 mm     |
|              | T  | - 6,1  | - 4,0  | 1,0    | 9,0   | 16,8 | 20,7 | 22,8 | 16,5 | 9,8  | 2,3   | - 2,5 °C  |
|              | RF | per    | per    | per    | sa    | a    | a    | a    | a    | sa   | per   | per       |
| Russland III | N  | 26     | 27     | 32     | 36    | 50   | 62   | 36   | 34   | 35   | 38    | 35 mm     |
|              | T  | - 7,0  | - 5,3  | 0,1    | 8,4   | 16,0 | 19,6 | 20,7 | 14,6 | 8,0  | 1,1   | - 3,5 °C  |
|              | RF | per    | per    | per    | sa    | a    | a    | a    | a    | sa   | per   | per       |
| Russland IV  | N  | 21     | 20     | 32     | 29    | 36   | 70   | 52   | 24   | 40   | 32    | 29 mm     |
|              | T  | - 7,5  | - 5,4  | - 1,1  | 7,1   | 14,9 | 18,0 | 19,4 | 14,1 | 7,4  | 0,2   | - 4,5 °C  |
|              | RF | per    | per    | per    | sa    | a    | sa   | a    | a    | sh   | per   | per       |
| Russland V   | N  | 34     | 22     | 21     | 24    | 39   | 44   | 31   | 26   | 29   | 42    | 38 mm     |
|              | T  | - 15,4 | - 13,5 | - 7,4  | 4,0   | 14,8 | 19,7 | 22,0 | 13,0 | 4,7  | - 4,6 | - 11,0 °C |
|              | RF | per    | per    | per    | sh    | a    | a    | a    | a    | sh   | per   | per       |
| Russland VI  | N  | 12     | 8      | 10     | 17    | 28   | 56   | 53   | 34   | 22   | 17    | 14 mm     |
|              | T  | - 19,1 | - 18,1 | - 11,3 | 0,2   | 10,6 | 16,6 | 15,9 | 10,3 | 1,6  | - 8,6 | - 16,5 °C |
|              | RF | per    | per    | per    | per   | a    | sa   | sa   | sa   | per  | per   | per       |
| Russland VII | N  | 13     | 9      | 11     | 16    | 27   | 50   | 48   | 29   | 20   | 21    | 17 mm     |
|              | T  | - 19,2 | - 18,5 | - 11,8 | - 0,8 | 10,2 | 16,2 | 15,8 | 9,9  | 1,2  | - 9,2 | - 16,5 °C |
|              | RF | per    | per    | per    | per   | a    | a    | a    | a    | per  | per   | per       |

mit einem Na- und/oder Mg-reichen Illuvialboden, dann steigt der Wasserspiegel, und das Salzwasser gelangt nun von unten in die vorher eluvialen Böden und vergiftet sie. In solchen Fällen hilft nur Drainage, damit die Salzwasser abfließen können. In manchen Fällen hat man den Untergrund durch Sprengung aufgelockert und wasserdurchlässig gemacht.

Bei den Waldböden ist die Wasserbewegung nach *unten*, bei den waldfreundlichen *seitlich* gerichtet, und so unterscheiden sie sich durch die Dynamik. Diese ist in Ebenen mit Lössauflagerungen sehr vielseitig, und darum trifft man sehr mannigfaltige Bodenbildung, trotz desselben Klimas und demselben Muttergestein.

### 5. Lössbodenbildung und Klima

Oft liest man, dass sich der wahre Tschernosem im Löss nur im kontinentalen Klima mit heißen Sommern und kalten Wintern bilde. Nach anderen Autoren bilden sich im „trockenen Steppenklima“ die Steppe, im „wechselfeuchten Savannenklima“ die Savanne und im „immerfeuchten Waldklima“ der Wald. Nach dieser Auffassung würde die Regenverteilung den Vegetationstyp und die Bodenklasse bestimmen.

Nun sind wir heute über die Verbreitung des Lösses in Eurasien gut unterrichtet und finden auch Klimaangaben aus dieser Löss- oder Tschernosemzone. Die Klimaangaben Russlands sind einer Arbeit von V. R. VOLOBUEV in russischer Sprache entnommen. Eine Karte zeigt die Verbreitung des Tschernosems, der sich auch im Subpolargebiet bildet.

Um den Klimaablauf im Lössgebiet zu erkennen, finden wir in der Tabelle 11 die monatlichen Regenmengen (N), die mittleren Monatstemperaturen (T) und die monatlichen Regenfaktoren (RF). Es bedeuten: a = arid, sa = semiarid, sh = semihumid, h = humid und per = perhumid.

Die Tabelle 11 zeigt für das ganze Gebiet für die Monate Mai bis September einen ähnlichen Klimaablauf, der der Vegetationszeit entspricht. Ganz verschieden ist dagegen der Temperaturablauf im Winter; dieser entscheidet, ob das Klima ozeanisch, normal oder kontinental ist. Wenn wir nach der Regenverteilung definieren: trockene Steppenklimate mit 12 bis 9 ariden Monaten; wechselfeuchte Savannenklimate mit 8 bis 4 ariden Monaten und immerfeuchte Waldklimate mit 4 bis 0 ariden Monaten, so stellen wir mit Überraschung fest, dass es im Lössgebiet Eurasiens *kein einziges Steppenklimate gibt*. Die drei „wechselfeuchten Savannenklimate“ haben 5 aride Monate, und die 11 anderen Stationen

liegen im „immerfeuchten Regenwaldklima“. *Die Natur zeigt deutlich, dass die Klimaklassifikation nach der Regenverteilung und der Klimavegetationstypen revisionsbedürftig ist.*

Dagegen zeigen die Tabellen 4 und 5, dass es Lössböden gibt, die mit der durch die Regenfaktoren definierten Befeuchtung im Gleichgewicht stehen. Wenn wir nun die Klimate des Lössgebietes von Eurasien klassieren wollen, so werden wir eine Klimasystematik wählen müssen, die die Befeuchtung durch die Regenfaktoren definiert. Das ist beim Vorschlag Caldas-Lang (SCHAUFELBERGER, 1957, 1959c) der Fall. Dieser beruht auf den Klimafaktoren: *Zone, mittlere Jahrestemperatur (Höhenklima) und Befeuchtung (Regenfaktor)*. Weiter berechnen wir aus Tabelle 11 die Differenz der extremen Temperaturmonatsmittel (dT) und die Anzahl arider Monate (a) (Tabelle 12).

Tabelle 12. *Klimaklassifikation nach Caldas-Lang*

| Ort            | N<br>mm | T<br>° C | RF   | dT<br>° C | a | Klima                                  |
|----------------|---------|----------|------|-----------|---|--|
| Frankfurt a.M. | 508     | 9,1      | 56   | 18,3      | 1 | gemässigt, montan, semiarid, ozeanisch |
| Köln           | 696     | 10,2     | 68   | 16,0      | 0 | gemässigt, montan, semihumid, ozean.   |
| Hannover       | 644     | 9,0      | 73   | 16,7      | 0 | gemässigt, montan, semihumid, ozean.   |
| Magdeburg      | 508     | 9,1      | 56   | 18,3      | 4 | gemässigt, montan, semiarid, ozeanisch |
| Erfurt         | 510     | 8,0      | 63   | 18,1      | 0 | gemässigt, montan, semihumid, ozean.   |
| Leipzig        | 621     | 8,9      | 70   | 18,7      | 0 | gemässigt, montan, semihumid, ozean.   |
| Breslau        | 592     | 11,0     | 54   | 19,9      | 1 | gemässigt, montan, semiarid, ozeanisch |
| Russland I     | 646     | 11,9     | 54   | 25,6      | 3 | gemässigt, montan, semiarid            |
| Russland II    | 470     | 9,2      | 57   | 29,8      | 5 | gemässigt, montan, semiarid            |
| Russland III   | 496     | 7,9      | 62   | 29,2      | 5 | gemässigt, alpin, semihumid            |
| Russland IV    | 451     | 6,9      | 66   | 27,9      | 4 | gemässigt, alpin, semihumid            |
| Russland V     | 385     | 3,4      | 113  | 37,4      | 5 | subpolar? alpin, humid, kontinental    |
| Russland VI    | 341     | 0,0      | >160 | 38,0      | 1 | subpolar? nival, perhumid, kontinental |
| Russland VII   | 325     | -0,3     | >160 | 37,9      | 4 | subpolar? nival, perhumid, kontinental |

Wie anderswo gezeigt wurde (SCHAUFELBERGER, 1950, 1953, 1954, 1958b), wird der Klimasol, unabhängig von der mittleren Jahrestemperatur und der Zone, durch die Befeuchtung bestimmt. Nach dem zweiten Langschen Gesetz (SCHAUFELBERGER, 1959a, 1959b) bestimmt diese den Humusgehalt und den Auswaschungsfaktor. Die Tabellen 4 und 5 zeigen, dass Bambus- und Humussol verschiedene Regenfaktoren und Perkolate auch auf Lössböden zeigen. Nach der Tabelle 2 müssten die Klimasols im nördlichen Lössgebiet mit humiden und perhumiden Klimaten viel humusreicher sein als im südrussischen und demjenigen in Deutschland. Der Humusgehalt der Klimasols wächst mit geometri-

scher Progression: arid 1%, semiarid 2%, semihumid 4%, humid 8% und perhumid 16%. Diese Beziehung gilt nur für die Klimasols, aber auch bei den anderen Bodentypen und Bodenklassen erkennt man leicht ein Anwachsen des Humusgehaltes mit der Befeuchtung.

Über den Humusgehalt der Lössböden macht H. WILHELMY folgende Angaben:

„Der Humusgehalt der fetten Tschernosems erreicht in der ukrainischen Waldsteppe bis 16% und geht in der südrussischen Pflanzengras-Trockensteppe allmählich auf 4% zurück. Auch die degradierten Schwarzerden der nördlichen Waldsteppe haben nur einen Humusgehalt von 4—6%. Diese Werte liegen aber immer noch über denen, die bei den deutschen Schwarzerden angetroffen werden (2—3%).“

*Es sind also revisionsbedürftig die Ansichten über die Regenverteilung und der angeblich durch sie bestimmten Vegetationstypen: Steppe, Savanne und Wald.*

*Die Klimaklassifikation von Caldas wurde in den Tropen aufgestellt, die Regenfaktoren wurden ebenfalls in den Tropen erkannt. Die von LANG angenommenen Klimabodentypen wurden ebenfalls in den Tropen gefunden; auf Grund dieser wurde das zweite Gesetz von Lang aufgestellt, das über den Humusgehalt der Klimaböden aussagt. Wendet man diese tropischen Erfahrungstatsachen auf das Lössgebiet Eurasiens an, so erklären sie die längst bekannten Tatsachen vom grossen Unterschied des Humusgehaltes der verschiedenen Lössböden. Er ist klimabedingt, und es handelt sich um Böden verschiedener Typen und Gruppen.*

*Der Regenfaktor = Jahresniederschlag : mittlere Jahrestemperatur definiert die Befeuchtung. Die Einheit der Befeuchtung ist nach der Definition die auf 1° C reduzierte Regenmenge, die jede Sekunde fallen müsste, um im Jahre eine Regenhöhe von 1 cm zu erreichen. Nun ist zu entscheiden, ob diese neue physikalische Einheit der Befeuchtung sich in das Gramm-Zentimeter-Sekunden-System einbauen lässt.*

### **Zusammenfassung**

Nach der konventionellen Bodenkunde soll der Tschernosem ein Klimaboden sein und sollte sich in einem bestimmten „Steppenklima“ bilden.

Die echten Klimaböden sind die Endglieder von fünf Sukzessionsserien endoperkolativer Waldböden, die sich auch im Löss bilden. Nach dem Gesetz von Pallmann sind also auch in Löss in jedem Klima Roh-

böden, unreife Böden, reife, degradierende und degradierte zu erwarten. Unter ihnen finden wir nachgewiesen die Lithosols und Klimasols aus den ariden, semiariden und semihumiden Klimaten.

Die waldfreundlichen Lössböden entwickeln sich in Ebenen mit seitlicher Wasserbewegung auf der unteren Bodengrenze. Es bilden sich dann Lössböden, die sich auf 4 Bodenklassen, 10 Bodenordnungen, 25 Bodenverbände und 175 Bodengruppen mit 5250 wohldefinierten Bodenvarietäten verteilen. Diese unterscheiden sich durch die Wasserbewegung im Boden, den Humusgehalt, den Basengehalt und die Zusammensetzung der austauschbaren und wasserlöslichen Basen. Diese ist sehr mannigfaltig, weil Salze oder Salzwasser seitlich in den Boden gelangen und dann die Bodenbildung beeinflussen kann.

Lössböden finden wir in allen Klimaten, also ist seine Bildung ganz sicher nicht an ein hypothetisches Steppenklima gebunden. Der Humusgehalt der Tropenböden wird bei den basenarmen Waldböden durch den Regenfaktor bestimmt. Genau dieselben Humusmengen findet man auch bei gleicher Befeuchtung im Lössgebiet von Eurasien. Der Regenfaktor muss also die Befeuchtung definieren. Die physikalische Einheit der Befeuchtung ist demnach die auf 1° C reduzierte Regenmenge, die jede Sekunde fallen müsste, um im Jahr eine Regenhöhe von 1 cm zu erreichen.

Chemie, Geologie, Petrographie, Botanik und Physik zeigen, dass sich auf Löss sehr verschiedene Böden bilden können. Wann wird diese Tatsache von der konventionellen Bodenkunde anerkannt werden?

### Literaturverzeichnis

- S. M. P. M. = Schweiz. Mineralogische und Petrographische Mitteilungen
- ARANY, S. A. (1956—1957): Die genetische und praktische Klassifizierung der ungarischen Alkaliböden (Szik-Böden). *OMMY* Vol. 4, S. 31—48.
- GRACANIN, M. (1950): Monthly Rain-Factors and their Significance for pedological Investigations. *Revisio Scientifica Agriculturae* 12, S. 51—61.
- LANG, R. (1915): Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. *Int. Mitt. f. Bodenkunde*.
- SCHAUFELBERGER, P. (1950): Wie verläuft die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung in den Tropen, insbesondere in Kolumbien? *S. M. P. M.* 30/2.
- (1952): Gibt es in den Tropen Tschernosem? *Zeitschr. f. Pflanzenern., Düngung u. Bodenkunde* 57/2.
- (1953): Tropische Verwitterung und Bodenbildung über Andesit und Diorit. *S. M. P. M.* 33/1.
- (1954): Verwitterung und Bodenbildung auf basischen Eruptivgesteinen. *S. M. P. M.* 34/2.

- (1955a): Zur Systematik der Tropenböden. Vierteljschr. d. Naturf. Ges. Zürich 100, S. 131—143.
- (1955b): Vierzig Jahre Regenfaktor. Ibid., S. 194—201.
- (1956): Kritische Betrachtung der Bodenklassifikation. S. M. P. M. 36/2.
- (1957): Zur Systematik des Tropenklimas. Geogr. Helv. XII/1.
- (1958a): Die Bodentypen des modifizierten Systems Pallmann. S. M. P. M. 38/1.
- (1958b): Las bases científicas de la Edafología. Anales de Edaf. y Fis. Veg. XVII/11.
- (1959a): Von der chaotischen Bodenkunde zur logischen Bodenlehre. S. M. P. M. 39/1—2.
- (1959b): Die Gesetze der Bodenbildung. Jb. f. Geol. u. Paläont. Mh. 9.
- (1959c): Klima-, Klimaboden- und Klimavegetationstypen. Geogr. Helv. 14/1.
- SCHERF, E. (1930): Über die Rivalität der boden- und luftklimatischen Faktoren bei der Bodentypenbildung. Jber. d. kgl. ung. geol. Anstalt 24.
- STREMME, H. (1926): Grundzüge der praktischen Bodenkunde. Berlin.
- SZABOLCS, I. und JASSO, F. (1959): Klassifikation der Szikböden Ungarns. Agrochemie und Bodenkunde 8/3.
- VOLOBUEV, V. R. (1958): Comparative Geographical Study of Climate Conditions of Chernosem Formation. Zeitschr. d. Akademie der Wissenschaft Baku, Nr. 8.
- WHITESIDE, E. P. (1959): A proposed system of genetic soil-horizon designation. Soils and Fertilizers 22/1.
- WILHELMY, H. (1950): Das Alter der Schwarzerden und der Steppen Mittel- und Ostdeutschlands. Erdkunde IV/1—2.