

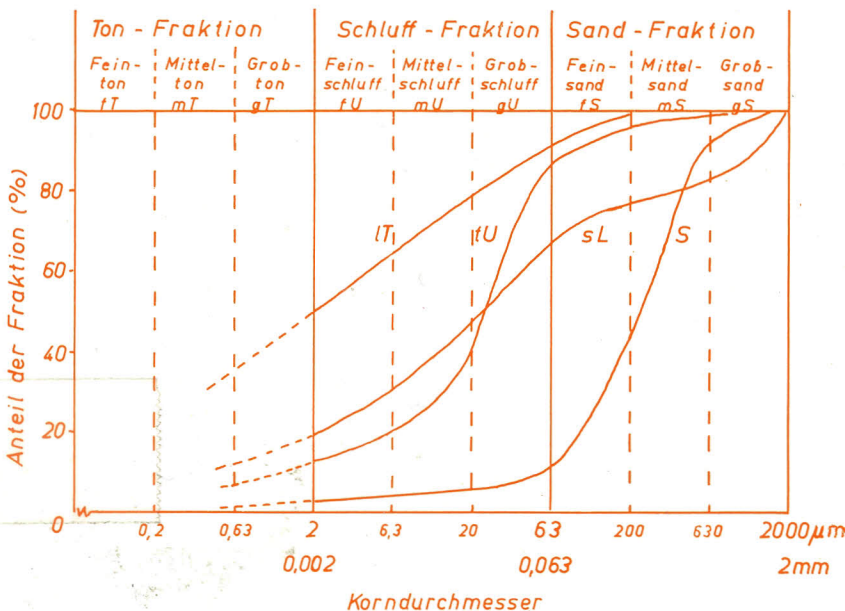
Scheffer/Schachtschabel

Lehrbuch der Bodenkunde

12., neu bearbeitete Auflage von

P. Schachtschabel, H.-P. Blume, G. Brümmer,
K.-H. Hartge und U. Schwertmann

220 Abbildungen, 102 Tabellen, 1 Farbtafel



 Enke

L IV 49

DK 551.3
551.3.053

Scheffer/Schachtschabel

Lehrbuch der Bodenkunde

12., neu bearbeitete Auflage von

P. Schachtschabel, H.-P. Blume, G. Brümmer,
K.-H. Hartge und U. Schwertmann

Unter Mitarbeit von

W. R. Fischer, M. Renger und O. Strebel

220 Abbildungen, 102 Tabellen, 1 Farbtafel

281/3496

INSTITUT

FÜR METEOROLOGIE U. KLIMATOLOGIE

UNIVERSITÄT HANNOVER

HERRENKÜSER STR. 2 • 3000 HANNOVER 71



Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1989

Inhalt

Vorwort	V
Einleitung	1
A. Ausgangsmaterial, Zusammensetzung und Eigenschaften der Böden	2
I. Anorganisches Ausgangsmaterial	2
1. Minerale	2
2. Gesteine	5
a) Magmatite	5
b) Sedimente	6
c) Metamorphite	10
II. Verwitterung	12
1. Physikalische Verwitterung	12
2. Chemische Verwitterung	13
a) Auflösung durch Hydratation	13
b) Hydrolyse	13
c) Oxidation	16
d) Komplexierung	16
3. Rolle der Pflanzen und Bodenorganismen	17
4. Verwitterungsstabilität von Mineralen	17
5. Verwitterungsstabilität von Gesteinen	19
III. Körnung (Textur)	21
1. Kornformen, Oberfläche, Korngrößenfraktionen	21
2. Bodenarten	23
3. Einfluß der Körnung auf Ökologie und Ertragfähigkeit der Böden	24
IV. Tonminerale	26
1. Allgemeine Eigenschaften	26
a) Kristallstruktur	27
b) Ladung der Silicatschichten	29
2. Tonminerale der Böden	30
a) Zweischichtminerale	30
b) Dreischichtminerale	30
c) Palygorskit und Sepiolit	34
d) Allophan und Imogolit	34
e) Wechsellagerungsminerale	35
3. Bildung und Umwandlung der Tonminerale	35
a) Bildung aus Schichtsilicaten durch Veränderung der Zwischenschichtbesetzung	36
b) Bildung aus Zerfallsprodukten von Silicaten	36
c) Tonmineralumwandlung	38
4. Vorkommen in verschiedenen Böden	39
V. Oxide und Hydroxide	41
1. Siliciumoxide	41
a) Formen und Vorkommen	41

b) Entstehung	41
c) Löslichkeit	42
2. Aluminiumoxide	42
3. Eisenoxide	43
a) Formen und Eigenschaften	43
b) Entstehung, Vorkommen und Gehalt	44
4. Titanoxide	45
5. Manganoxide	45
VI. Mineralzusammensetzung von Böden und Mineralbestimmung	47
1. Mineralzusammensetzung von Böden	47
2. Mineralbestimmung	48
VII. Organische Substanz	50
1. Definition und Einteilung	50
2. Organische Ausgangsstoffe und ihre Umwandlung	52
3. Huminstoffe	54
a) Bildung von Huminstoffen	54
b) Zusammensetzung und Eigenschaften	56
c) Huminstoff-Fraktionen	58
d) Alter der Huminstoffe	59
e) Metallorganische Komplexe	60
4. Gleichgewicht zwischen Anlieferung und Abbau der organischen Substanz ..	63
a) Einfluß der Umweltbedingungen	64
b) Einfluß der Nutzungsform	65
c) Einfluß der Düngung	67
d) pH-Wert	68
5. Bedeutung der organischen Substanz für Boden und Pflanze	65
a) Chemische und bodenbiologische Wirkungen	69
b) Physikalische Wirkungen	69
c) Wirkstoffe	70
6. Analytische Bestimmung und Auftrennung der Huminstoffe	70
a) Isolierung	71
b) Fraktionierung	71
c) Methoden zur Identifizierung und Strukturaufklärung	71
VIII. Organo-mineralische Verbindungen	74
IX. Bodenorganismen	77
1. Einteilung und Beschreibung	77
a) Flora	77
b) Fauna	78
2. Lebensbedingungen	79
a) Nahrung und Nährelemente	79
b) Wasser und Luft	80
c) Wärme	80
3. Bodenorganismen als Lebensgemeinschaft	81
a) Wechselbeziehungen	81
b) Besatz europäischer Böden	81
c) Bodenorganismen anderer Klimate	82
d) Einfluß von Bodentiefe und Jahreszeit	82
e) Mykorrhiza	83
f) Unterschiede zwischen Böden	84

4. Einfluß der Bodenorganismen auf Bodeneigenschaften	85
a) Mikroorganismen	85
b) Bodentiere	85
5. Einfluß von Kulturmaßnahmen	87
X. Kationenadsorption	90
1. Allgemeines	90
2. Ursachen und Ausmaß des Kationenaustausches	91
a) Spezifische Oberfläche	91
b) Ladungsart und Ladungsdichte	91
c) Tonminerale	93
d) Oxide des Si, Al und Fe	94
e) Organische Substanz	94
f) Böden	95
3. Elektrische Doppelschicht der Kationenaustauscher	95
4. Beziehung zwischen der Zusammensetzung des Kationenbelags und der Gleichgewichtsbodenlösung	96
a) Allgemeines	96
b) Kationenaustausch-Gleichungen	97
c) Einfluß von Wertigkeit und Hydratation der Kationen	99
d) Spezifische Adsorption von Kationen	100
5. Kationenaustauschverhältnisse in Böden	102
a) Kationenaustauschkapazität (KAK)	102
b) Kationenbelag	104
c) Sorptionsverhältnisse in Bodenprofilen	105
d) Selektivitätsverhältnisse in Böden	106
6. Bestimmung	107
XI. Anionenadsorption	108
1. Wesen und Ausmaß der Anionenadsorption	108
a) Unspezifische Adsorption	108
b) Spezifische Adsorption	108
c) Adsorbentien und Adsorptionskapazität	109
2. Faktoren der Anionenadsorption	110
a) Konzentration der Gleichgewichtslösung	110
b) Art der Anionen	111
c) pH-Wert	111
XII. Bodenacidität	113
1. Wesen der Bodenacidität	113
a) Dissoziation funktioneller Säuregruppen	113
b) Hydrolyse von Al- und Fe-Ionen	113
2. H-Ionen-Quellen	114
a) Bildung von Kohlensäure und organischen Säuren	114
b) Abgabe durch die Wurzel	115
c) Eintrag saurer Niederschläge	115
d) Oxidation von NH_4 und NH_3	115
e) Oxidation von Fe/Mn^{2+}	116
3. Puffersubstanz und -reaktionen	116
a) Pufferung durch Carbonate	116
b) Pufferung an variablen Ladungen	117
c) Pufferung durch Silicate	117
d) Pufferung durch Oxide, Hydroxide und Hydroxysalze	118
4. SNK und BNK von Böden – Kalkbedarf	118

5. pH-Werte von Böden	120
a) Alkalische Böden	120
b) CaCO ₃ -haltige Böden	120
c) Schwach saure Böden	120
d) Saure und stark saure Böden	121
e) Zeitliche und räumliche Veränderungen	121
6. Anzustrebender pH-Wert von Kulturböden	122
7. Kalkung	123
8. Bestimmungsmethoden	125
XIII. Redoxreaktionen	127
1. Allgemeines	127
2. E _h -pH-Stabilitätsdiagramme	129
3. Redoxsysteme in Böden	130
4. Redoxpotentiale von Böden	132
XIV. Flockung und Peptisation	134
1. Energetische Wechselwirkung zwischen Bodenkolloiden	135
2. Einfluß von Kationenbelag und Wertigkeit auf die Flockung	136
a) Teilchen mit negativer Ladung (Kationenaustauscher)	136
b) Teilchen mit positiver Ladung (Anionenaustauscher)	137
3. Aufbau der Flocken	138
4. Einfluß des elektrokinetischen Potentials	138
XV. Bodengefüge	140
1. Gefügemorphologie	140
a) Makrogefüge	140
b) Mikrogefüge	143
c) Riß- und Röhrensysteme	144
2. Das Gefüge im Raum	146
a) Kennwerte des Bodengefüges	146
b) Porenanteile in Böden	147
c) Porenformen	148
d) Porengrößenverteilung (Porung)	148
3. Spannungen und Verformungen	150
a) Kräfte an einem Korn	150
b) Kräfte und Spannungen im Bodenverband	151
c) Einfluß des Wassers	153
4. Stabilität des Bodengefüges	156
a) Grundkonzept	156
b) Stabilisierende Stoffe	157
c) Verschlammung, Verknetung und Krustenbildung	159
d) Bestimmung der Gefügestabilität	160
5. Biologische, klimatische und anthropogene Einflüsse auf das Bodengefüge	161
a) Gefüge eines Bodenprofils als Gleichgewichtslage	161
b) Natürliche Bodenentwicklung	162
c) Anthropogene Einflüsse	167
6. Beurteilung des Bodengefüges für den Pflanzenbau	168
XVI. Bodenwasser	171
1. Einteilung (Bindungsarten)	171
a) Grund- und Stauwasser	171
b) Adsorptions- und Kapillarwasser	172
c) Bestimmung des Wassergehaltes	173

2.	Intensität der Wasserbindung	174
a)	Potentialkonzept	174
b)	Potential-Gleichgewicht	177
c)	Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt	177
3.	Wasserbewegung in flüssiger Phase	180
a)	Einfluß von Körnung und Gefüge	182
b)	Einfluß des Wassergehalts	183
c)	Bestimmung der Wasserleitfähigkeit	184
d)	Wasseraufnahme und Wasserabgabe	184
4.	Wasserbewegung in dampfförmiger Phase	189
a)	Wasserdampfbewegung im Boden	189
b)	Evaporation aus dem Boden	190
c)	Kondensation im Boden	191
5.	Wasserhaushalt der Böden	191
a)	Bodenkennwerte	191
b)	Jahreszeitlicher Gang	193
c)	Klassifizierung	197
6.	Wasserversorgung der Pflanzen	197
a)	Pflanzenverfügbares Bodenwasser	197
b)	Wasserbewegungen im System Boden – Pflanze – Atmosphäre	200
c)	Wasserverbrauch und Pflanzenertrag	202
XVII.	Bodenluft	205
1.	Zusammensetzung und Herkunft der Komponenten	205
2.	Transportmechanismen	207
3.	Gashaushalt und Pflanzenstandort	208
XVIII.	Bodentemperatur	211
1.	Bedeutung thermischer Phänomene	211
2.	Energiegewinn und -verlust	211
3.	Thermische Eigenschaften	212
4.	Wärmebewegungen	213
5.	Wärmehaushalt	214
a)	Natürlicher Wärmehaushalt	214
b)	Anthropogene Eingriffe	217
XIX.	Bodenfarbe	219
XX.	Nährstoffe	221
1.	Allgemeines über Gehalt, Bindung und Bilanz	221
2.	Nährstoffauswaschung	222
3.	Nährstoffverfügbarkeit	224
a)	Nährstoffkonzentration der Bodenlösung	224
b)	Nährstoffvorrat im Wurzelraum	225
c)	Nährstoffnachlieferung und -transport	225
d)	Mikrobielle Aktivität und pH-Wert in der Rhizosphäre, Wurzelau- scheidungen	226
4.	Bestimmung der Nährstoffversorgung von Böden	227
a)	Feldversuche	227
b)	Gefäßversuche	227
c)	Pflanzenanalyse	228
d)	Mangelsymptome	228
e)	Chemische Bodenuntersuchungen	228

5. Düngung in Abhängigkeit von Pflanzenentzug und der Nährstoffversorgung der Böden	229
a) Nährstoffentzug der Pflanzen	229
b) Entzugs- und Erhaltungsdüngung	229
c) Nährstoffgehaltsklassen und Grenzwerte	229
d) Einfluß des Standorts; Unterboden	230
e) Änderung der Bodenuntersuchungswerte nach einer Düngung	230
6. Calcium	231
7. Magnesium	231
a) Pflanzenverfügbares Magnesium	231
b) Bestimmung der Mg-Versorgung von Böden	232
c) Beziehung zwischen Mg-Gehalt in Böden und Ertrag	232
d) Mg-Düngung und Mg-Grenzwerte	233
e) Mg-Auswaschung	234
8. Kalium	234
a) Austauschbares und nichtaustauschbares Kalium	234
b) K-Fixierung	234
c) K-Gleichgewicht zwischen Boden und Bodenlösung	236
d) Pflanzenverfügbares Kalium	237
e) Bestimmung der K-Versorgung von Böden	238
f) K-Versorgung der Böden	239
g) K-Düngung und K-Grenzwerte	241
h) K-Bilanzierung über Bodenuntersuchungen	243
i) K-Bilanz für die Landwirtschaft der BRD	243
j) K-Auswaschung	244
9. Natrium	245
10. Phosphor	245
a) P-Gehalt in Böden	245
b) P-Bindungsformen	246
c) Umsetzung der Düngerphosphate und P-Fractionen	248
d) Löslichkeit des Bodenphosphats	249
e) P-Aufnahme durch die Pflanzen	252
f) Bestimmung der P-Versorgung von Böden	253
g) Vergleich von P-Bodenuntersuchungsmethoden	254
h) Beziehung zwischen P-Gehalt in Böden und Ertrag	255
i) P-Düngung und P-Grenzwerte	255
k) Ausnutzung der Düngerphosphate	257
l) P-Bilanzierung über Bodenuntersuchungen	258
m) P-Bilanz für die Landwirtschaft der BRD	258
n) P-Auswaschung	259
11. Stickstoff	259
a) N-Verbindungen in Böden	259
b) N-Kreislauf und N-Bilanz	260
c) N-Gleichgewicht in Böden	261
d) N-Mineralisierung und N-Immobilisierung	262
e) Nitrifikation	264
f) Denitrifikation	265
g) Ammonium-Fixierung	266
h) Ammoniak-Verflüchtigung	267
i) Biologische N ₂ -Fixierung	267
j) N-Düngung und N-Bilanz	268
k) N-Auswaschung	270
l) Grundwasserbelastung durch Nitrat-Auswaschung	273
12. Schwefel	274
13. Mangan	276

14. Eisen	279
15. Kupfer	280
16. Zink	284
17. Bor	287
18. Molybdän	289
19. Chlor	290
20. Silicium	291
21. Cobalt	292
22. Selen	293
XXI. Gewässereutrophierung und Gewässerversauerung	300
1. Gewässereutrophierung	300
2. Gewässerversauerung	303
XXII. Schadstoffe	304
1. Filter-, Puffer- und Transformatorfunktion der Böden	306
2. Ausmaß der Bodenbelastung in der Bundesrepublik Deutschland	307
3. Ermittlung der Schadstoffgehalte und der Belastbarkeit von Böden	310
4. Anorganische Schadstoffe	313
a) Schwefeldioxid und Stickstoffverbindungen, neuartige Waldschäden ...	313
b) Fluor	317
c) Cadmium	318
d) Blei	324
e) Quecksilber	328
f) Nickel	331
g) Chrom	333
5. Organische Schadstoffe	334
a) Nitrosamine	337
b) Chlorierte Kohlenwasserstoffe	338
c) Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	341
d) Mineralöl und Ölrückstände	343
6. Salzsäuren	344
XXIII. Klärschlamm und Müllkompost	349
XXIV. Verhalten von organischen Bioziden in Böden	353
1. Adsorption, Verlagerung und Verdampfung	353
2. Chemische und mikrobiologische Umwandlung	355
3. Veränderung des Organismenbesatzes durch Biozide	356
XXV. Böden als Teile von Ökosystemen	358
1. Struktur und Dynamik eines Landökotops	358
2. Entwicklung eines Landökotops	359
3. Belastungen mitteleuropäischer Ökotope	359
B. Bodenentwicklung, Bodensystematik und Bodenverbreitung	362
XXVI. Faktoren der Bodenentwicklung	363
1. Klima	363
2. Ausgangsgestein	364
3. Schwerkraft und Relief	365
4. Wasser	366
5. Fauna und Flora	367
6. Menschliche Tätigkeit	367

XXVII. Prozesse der Bodenentwicklung	370
1. Verwitterung und Mineralbildung	370
a) Kryoklastik	371
b) Verbraunung und Verlehmung	371
c) Ferrallitisierung und Desilifizierung	372
d) Temperatur- und Salzsprengung	373
2. Bildung von Humusformen	373
a) Terrestrische Humusformen	373
b) Hydromorphe Humusformen	375
3. Gefügebildung	375
4. Tonverlagerung	376
5. Podsolierung	378
6. Redoximorphose	379
7. Carbonatisierung	381
8. Versalzung	381
a) Tagwasserversalzung	382
b) Grundwasserversalzung	383
c) Künstliche Versalzung	383
d) Vegetation und Melioration	384
9. Turbationen	385
a) Bioturbation	385
b) Kryoturbation	386
c) Peloturbation	386
d) Spaltenkumulation	387
10. Stoffumlagerungen in der Landschaft	387
a) Massenversatz am Hang	388
b) Bodenumlagerung durch Wasser und Wind	389
c) Verlagerung durch Hangzugwasser	389
11. Profildifferenzierung	390
XXVIII. Bezeichnung und Definition der Bodenhorizonte	395
XXIX. Bodensystematik	398
1. Entwicklung der Bodensystematik	398
2. Klassifikationssysteme in Deutschland	399
3. Klassifikationssysteme in den USA	401
4. Bodeneinheiten der Weltbodenkarte	403
5. Numerische Klassifikation	405
XXX. Böden Mitteleuropas	407
1. Landböden (terrestrische Böden)	407
a) Syrosem	407
b) Lockersyrosem	407
c) Ranker	408
d) Regosol	408
e) Rendzina	410
f) Pararendzina	411
g) Tschernosem (Schwarzerde)	412
h) Braunerde	414
i) Terra fusca	416
j) Parabraunerde und Fahlerde	417
k) Podsol	419
l) Pelosol	421
m) Pseudogley	422
n) Stagnogley	424

2. Grundwasserböden (semiterrestrische Böden)	425
a) Gleye	426
b) Quellengleye und Hanggleye	427
c) Auenböden	428
d) Marschen	429
3. Unterwasserböden (subhydrische Böden)	432
4. Moore	433
5. Anthropogene Böden	436
XXXI. Wichtige Böden außerhalb Mitteleuropas	440
1. Vertisole	440
2. Ferralsole (Oxisole)	441
3. Nitosole	443
4. Acrisole	443
5. Kastanozeme	444
6. Yermosole und Xerosole	444
7. Solonchake	445
8. Solonetze	446
9. Planosole	447
10. Andosole	447
11. Gelosole	448
12. Reisböden	448
XXXII. Bodenverbreitung	450
1. Grundsätze der Bodenvergesellschaftung	450
2. Bodenregionen Mitteleuropas	452
3. Bodenzonen der Erde	455
a) Gelosol(Frostboden)-Zonen	456
b) Podsol-Cambisol-Histosol-Zonen	456
c) Luvisol-Eutric-Gleysol-Zonen	457
d) Zonen mediterraner Böden	457
e) Steppenboden-Zonen	457
f) Yermosol-Solonchak-Yermic-Regosol-Zonen	458
g) Vertisol-Nitosol-Zonen	459
h) Ferric Luvisol-Acrisol-Ferralsol-Zonen	459
i) Fluvisol-Gleysol-Regionen	459
k) Lithosol-Regosol-Regionen	459
C. Bodennutzung	461
XXXIII. Bodenbewertung	462
1. Allgemeines	462
2. Bewertung für forstliche Nutzung	463
3. Bewertung für landwirtschaftliche Nutzung	463
XXXIV. Bodenerosion	468
1. Bodenerosion durch Wasser	468
a) Wesen, Ausmaß und Auswirkungen	468
b) Faktoren	470
c) Schutzmaßnahmen	471
d) Messung und Vorhersage	471
2. Bodenerosion durch Wind (Deflation)	472
a) Wesen und Auswirkungen	472
b) Faktoren	473
c) Vorhersage und Schutzmaßnahmen	474

Anhang 1	476
Gliederung der Spät- und Nacheiszeit in Mitteleuropa	476
Gliederung der geologischen Formationen	477
Anhang 2	479
Abkürzungen	479
Maßeinheiten	479
Umrechnungsfaktoren	479
Sachverzeichnis	480