

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
Der Boden als Teil unserer Umwelt . . . . .	11
Die Bodeneigenschaften . . . . .	12
<b>1 Körnung</b>	<b>14</b>
1.1 Einteilung . . . . .	14
1.1.1 Korngrößen . . . . .	15
1.1.2 Kornformen . . . . .	16
1.1.3 Kornmischungen . . . . .	18
1.2 Häufig vorkommende Körnungen und Ursachen ihrer Entstehung . . . . .	23
1.2.1 Sedimentationsgleichung . . . . .	24
1.2.2 Trennungsvorgänge . . . . .	25
1.3 Räumliche Verteilung von Körnungen . . . . .	27
1.4 Veränderungen von Korngrößenverteilungen im Boden . . . . .	28
1.5 Beziehungen zu anderen Bodeneigenschaften . . . . .	29
1.6 Bestimmungsmethoden . . . . .	32
<b>2 Gefüge und Gefügefunktionen</b>	<b>34</b>
2.1 Morphologie des Bodengefüges . . . . .	34
2.2 Lagerungsdichte, Dichte des Bodens . . . . .	36
2.3 Porenvolumen und Porenziffer . . . . .	37
2.3.1 Theoretische Größen von Porenvolumina . . . . .	38
2.3.1.1 Einfluss von Form und Sortierung . . . . .	38
2.3.1.2 Einfluss der Teilchengröße . . . . .	40
2.3.2 Kontaktzahlen . . . . .	41
2.3.2.1 Zusammenhang zwischen Kontaktzahlen und Porenanteil . . . . .	41
2.3.2.2 Natürliche Körnung und Aggregate . . . . .	42
2.3.3 Einfluss der Bodenentwicklung . . . . .	43
2.4 Porengrößenverteilungen . . . . .	46
2.4.1 Einteilungen . . . . .	46
2.4.2 Formen, Größen und Entstehungsweisen von Poren . . . . .	49
2.4.3 Auswirkungen der Porengrößenverteilungen . . . . .	50
<b>3 Mechanisch-hydraulische Kräftesysteme in Böden</b>	<b>51</b>
3.1 Stabilität und Lagerung . . . . .	51
3.1.1 Kräfte und Spannungen im Boden . . . . .	51
3.1.2 Aufteilung der im Boden wirksamen Kräfte und Spannungen . . . . .	55
3.1.2.1 Teilchengewicht . . . . .	56

3.1.2.2	Über die feste Phase übertragene Auflagerkräfte . . . . .	56
3.1.2.3	Über die flüssige (oder die gasförmige) Phase übertragene Kräfte . . . . .	56
3.1.2.4	Kräfte zwischen Oberflächen benachbarter Teilchen . . . . .	57
3.1.3	System der Hauptspannungen im dreidimensionalen Raum . . . . .	57
3.2	Stabilität als Gleichgewicht der Kräfte . . . . .	59
3.2.1	Scherwiderstand als Bodeneigenschaft . . . . .	59
3.2.1.1	Scherwiderstand des Bodens und seine Erfassung . . . . .	59
3.3	Druck- und Zeitsetzungsvorgang . . . . .	66
3.3.1	Drucksetzung . . . . .	66
3.3.2	Zeitsetzungsverhalten . . . . .	68
3.3.3	Bedeutung der während der Belastung auftretenden neutralen Spannungen . . . . .	69
3.4	Spannungs-/Verformungs- u. Bewegungsvorgänge in 3D . . . . .	71
3.4.1	Spannung und Verformung im dreidimensionalen Raum . . . . .	71
3.4.2	Druckfortpflanzung im Boden . . . . .	72
3.4.3	Grundbruch als Resultierende des aktiven und passiven Rankine'schen Zustands . . . . .	75
3.5	Fließverhalten: Spannungen zwischen Einzelpartikeln . . . . .	78
3.6	Beeinflussungen des Scherwiderstands durch Bodensubstanzen . . . . .	83
3.7	Veränderung der Lagerung durch mechanische Einflüsse . . . . .	84
3.7.1	Auswirkungen menschlicher Eingriffe . . . . .	84
3.7.2	Auswirkungen von Tierbewegungen und Pflanzenwuchs . . . . .	86
3.7.3	Auswirkungen des Gefrierens . . . . .	88
3.7.4	Technische Verdichtung . . . . .	88
<b>4</b>	<b>Wechselwirkungen zwischen Wasser und Boden</b>	<b>90</b>
4.1	Wasseradsorption . . . . .	90
4.1.1	Mechanismen der Adsorption . . . . .	90
4.1.2	Eigenschaften des adsorbierten Wassers . . . . .	92
4.2	Flockung und Peptisation . . . . .	93
4.3	Schrumpfung . . . . .	96
4.3.1	Ursachen der Schrumpfung . . . . .	96
4.3.2	Schrumpfung in Böden . . . . .	99
4.4	Quellung . . . . .	101
4.4.1	Ursache der Quellung und des Quellungsdrucks . . . . .	101
4.4.2	Quellungshemmung . . . . .	105
4.5	Rissbildungen . . . . .	106
4.6	Stabilitätsfaktor Wasser . . . . .	109
4.6.1	Statischer Wasserdruck . . . . .	109
4.6.2	Strömungsdruck . . . . .	111
4.7	Benetzungseigenschaften . . . . .	114
4.7.1	Ursachen und Auftreten von Benetzungshemmungen . . . . .	114
4.7.2	Kontaktwinkel und Kapillarität . . . . .	115
4.7.3	Methoden zur Bestimmung der Benetzungseigenschaften . . . . .	119
4.7.4	Auswirkungen auf die physikalischen Standorteigenschaften . . . . .	120
4.8	Elektrische Strömungspotenziale . . . . .	122
4.9	Aggregatformen und -funktionen . . . . .	123
4.9.1	Natürliche Aggregatbildung . . . . .	124
4.9.2	Anthropogen veränderte Aggregatformen . . . . .	128

4.10	Auswirkung von Aggregatgröße, -form und -alter auf die Hohlraumverteilung . . . . .	129
<b>5</b>	<b>Verbreitung und Hydrostatik des Bodenwassers</b>	<b>131</b>
5.1	Verbreitung und Herkunft des Wassers . . . . .	131
5.2	Kräfte im Bodenwasser . . . . .	132
5.3	Grundwasseroberfläche als Bezugsebene . . . . .	134
5.4	Potenzial des Bodenwassers . . . . .	135
5.4.1	Gesamtpotenzial und Teilpotenziale . . . . .	137
5.4.1.1	Das Matrixpotenzial $\Psi_m$ . . . . .	137
5.4.1.2	Das Gravitationspotenzial $\Psi_z$ . . . . .	138
5.4.1.3	Das osmotische Potenzial $\Psi_o$ . . . . .	138
5.4.1.4	Das Auflastpotenzial $\Psi_\Omega$ . . . . .	139
5.4.1.5	Das Druckpotenzial $\Psi_p$ . . . . .	139
5.4.2	Kombination von Teilpotenzialen . . . . .	140
5.4.3	Messgeräte . . . . .	141
5.5	Potenzialgleichgewicht . . . . .	143
5.6	Matrixpotenzial und Wassergehalt . . . . .	145
5.6.1	Einfluss der Körnung auf die Matrixpotenzial-/Wassergehaltskurve . . . . .	146
5.6.2	Einfluss des Gefüges auf die Matrixpotenzial-/Wassergehaltskurve . . . . .	147
5.6.3	Hysteresis der Matrixpotenzial–Wassergehaltskurve . . . . .	148
5.6.4	Bestimmung der Matrixpotenzial-/Wassergehaltskurve . . . . .	149
5.6.5	Mathematische Beschreibung der Matrixpotenzial-/Wassergehaltsbeziehung . . . . .	151
<b>6</b>	<b>Wasserbewegung im Boden</b>	<b>152</b>
6.1	Wasserbewegung im gesättigten Boden . . . . .	152
6.1.1	Physikalische Phänomene der Fluidodynamik . . . . .	152
6.1.2	Strömungsfelder . . . . .	156
6.1.3	Rand- und Grenzbedingungen von Strömungsfeldern . . . . .	157
6.1.4	Eindimensionale Strömung . . . . .	158
6.1.5	Zwei- und dreidimensionale Strömungen . . . . .	160
6.2	Wasserbewegung im ungesättigten Boden . . . . .	164
6.3	Nichtstationärer Fluss . . . . .	166
6.3.1	Hydraulische Diffusivität . . . . .	171
6.4	Wasserleitfähigkeit als Bodeneigenschaft . . . . .	172
6.5	Dampfförmiger Wassertransport . . . . .	180
6.6	Infiltration . . . . .	182
6.7	Dränung . . . . .	188
6.8	Evaporation . . . . .	195
<b>7</b>	<b>Die Gasphase im Boden</b>	<b>204</b>
7.1	Energetische Lage der Gasphase . . . . .	204
7.2	Zusammensetzung der Gasphase . . . . .	206
7.3	Transportprozesse . . . . .	208
7.3.1	Diffusion . . . . .	208
7.3.2	Massenfluss . . . . .	210
7.3.3	Umverteilungen . . . . .	211

<b>8</b>	<b>Das thermische Verhalten des Bodens</b>	<b>214</b>
8.1	Thermische Bodeneigenschaften . . . . .	214
8.1.1	Definitionen . . . . .	214
8.1.2	Wärmekapazität . . . . .	215
8.1.3	Thermische Leitfähigkeit . . . . .	219
8.1.4	Temperaturleitfähigkeit . . . . .	222
8.1.5	Wärmetransportmechanismen . . . . .	222
8.2	Modelle für thermische Leitfähigkeit . . . . .	224
8.3	Messmethoden . . . . .	224
8.4	Phasenübergänge des Wassers und seine Folgen . . . . .	225
8.4.1	Feuchteumverteilung durch thermischen Dampffluss . . . . .	225
8.4.2	Gefriervorgang und Eisbildung . . . . .	226
8.4.3	Gefriervorgang und Wasserbewegung . . . . .	228
8.4.4	Gefügebildung . . . . .	229
<b>9</b>	<b>Wasser-, Wärme- und Gashaushalt von Böden</b>	<b>232</b>
9.1	Grenzfläche „Atmosphäre – Bodenoberfläche“ . . . . .	232
9.1.1	Strahlungskomponenten und Strahlungsbilanz . . . . .	232
9.1.2	Energiebilanz an der Bodenoberfläche . . . . .	235
9.2	Wasserhaushalt . . . . .	237
9.2.1	Grund- und Stauwasser . . . . .	239
9.2.2	Gang der Matrixpotenziale . . . . .	243
9.2.3	Kennwerte des Wasserhaushaltes . . . . .	249
9.2.3.1	Feldkapazität . . . . .	249
9.2.3.2	Permanenter Welkepunkt . . . . .	252
9.3	Wärmehaushalt . . . . .	252
9.3.1	Verteilung der Temperaturen im Boden . . . . .	253
9.3.2	Wärmequellen . . . . .	254
9.3.3	Temperaturgänge im Boden . . . . .	255
9.3.4	Einflussnahme auf den Wärmehaushalt . . . . .	259
9.4	Gashaushalt . . . . .	261
9.4.1	Wassergehalte und Verteilung der Gasphase im Bodenprofil . . . . .	262
9.4.2	Jahreszeitliche Veränderungen . . . . .	265
<b>10</b>	<b>Der Pflanzenstandort und seine physikalische Veränderung</b>	<b>268</b>
10.1	Anforderungen der Pflanzen an die Wasserversorgung . . . . .	268
10.2	Interaktionen zwischen mechanischen und hydraulischen Vorgängen . . . . .	271
10.2.1	Mechanische und hydraulische Bodendeformation . . . . .	272
10.2.2	Porenfunktionsänderungen infolge mechanischer und hydraulischer Spannungen	275
10.2.3	Wechselwirkungen zwischen hydraulischen Porenfunktionen und mechanischen Kenngrößen . . . . .	278
10.2.4	Dynamik physikalischer Bodenkenngrößen als Grundlage zur Beurteilung von Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen . . . . .	279
10.3	Eingriffe in das hydraulische Spannungssystem . . . . .	281
10.3.1	Entwässerung . . . . .	281
10.3.2	Bewässerung . . . . .	285
10.3.3	Perkolation . . . . .	287

10.4	Eingriffe in das mechanische Spannungssystem . . . . .	289
10.4.1	Verdichtung . . . . .	289
10.4.2	Lockerung . . . . .	290
10.4.3	Materialumlagerungen . . . . .	291
<b>11</b>	<b>Erosion</b>	<b>293</b>
11.1	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten . . . . .	293
11.1.1	Ablösung von Teilchen oder Aggregaten . . . . .	294
11.2	Ansätze für Erosionsschutzmaßnahmen . . . . .	298
11.2.1	Erodierbarkeit . . . . .	299
11.2.2	Erodierende Wirkung . . . . .	301
11.3	Erosionsgleichungen . . . . .	301
11.3.1	Bodenerosion durch Wasser . . . . .	302
11.3.2	Bodenerosion durch Wind . . . . .	305
<b>12</b>	<b>Lösungstransport und Filterprozesse in Böden</b>	<b>306</b>
12.1	Grundlagen des Stofftransportes . . . . .	307
12.1.1	Durchbruchskurven in porösen Medien . . . . .	307
12.1.2	Molekulare Diffusion . . . . .	309
12.1.3	Konvektiver Fluss und hydrodynamische Dispersion . . . . .	311
12.1.4	Adsorption . . . . .	313
12.1.5	Konvektions-Dispersionsmodell des Lösungsstofftransportes . . . . .	314
12.1.6	Weitere Einflussfaktoren auf den Stofftransport . . . . .	316
12.1.7	Modelle zur Beschreibung des Stofftransportes . . . . .	317
12.2	Filtervorgänge in Böden . . . . .	318
12.2.1	Filtertypen . . . . .	318
12.2.2	Böden als Filter . . . . .	319
12.2.3	Wirksamkeit eines Filters . . . . .	320
12.2.4	Optimierung von Filtervorgängen . . . . .	322
<b>13</b>	<b>Perspektiven der Bodenphysik</b>	<b>324</b>
<b>14</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>333</b>
<b>15</b>	<b>Häufige Maßeinheiten und Umrechnungen</b>	<b>356</b>
	Bedeutung der Abkürzungen . . . . .	356
	Basisumrechnungen: Dichte und Porenraum . . . . .	357
	Transport in porösen Medien . . . . .	358
	Ableitung der Haushaltsgleichung . . . . .	359
	Energiebilanz an der Bodenoberfläche . . . . .	360
	Tensoren . . . . .	361
	Umrechnung von Messwerten . . . . .	362
	<b>Sachregister</b>	<b>363</b>