

# Einführung in die Bodenphysik

Karl Heinrich Hartge und Rainer Hörn

3., überarbeitete Auflage

159 Abbildungen, 19 Tabellen

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1999

# Inhalt

<b>Symbole und Abkürzungen</b> .....	XIII
<b>Einleitung</b> .....	1
<b>1 Körnung</b> .....	4
1.1 Einteilung.....	4
1.1.1 Korngrößen.....	5
1.1.2 Kofnformen.....	6
1.1.3 Kornmischungen.....	7
1.2 Häufig vorkommende Körnungen und Ursachen für ihre Entstehung.....	14
1.2.1 Sedimentationsgleichung.....	15
1.2.2 Trennungsvorgänge.....	16
1.3 Räumliche Verteilung von Körnungen.....	18
1.4 Veränderungen von Korngrößenverteilungen im Boden.....	20
1.5 Beziehungen zu anderen Bodeneigenschaften.....	21
1.6 Bestimmungsmethoden.....	23
1.7 Literatur.....	24
<b>2 Gefüge, Statik und Dynamik der Lagerung</b> .....	25
2.1 Morphologie des Bodengefüges.....	25
2.2 Lagerungsdichte, Dichte des Bodens.....	27
2.3 Porenvolumen und Porenziffer.....	28
2.3.1 Theoretische Größen von Porenvolumina.....	29
2.3.1.1 Einfluß von Form und Sortierung.....	29
2.3.1.2 Einfluß der Teilchengröße.....	31
2.3.2 Kontaktzahlen.....	32
2.3.2.1 Zusammenhang zwischen Kontaktzahlen und Porenanteil.....	32
2.3.2.2 Natürliche Körnung und Aggregate.....	33
2.3.3 Einfluß der Bodenentwicklung.....	34
2.4 Porengrößenverteilungen.....	37
2.4.1 Einteilungen.....	37
2.4.2 Formen, Größen und Entstehungsweisen von Poren.....	42
2.4.3 Auswirkungen der Porengrößenverteilungen.....	43
2.5 Stabilität und Lagerung.....	43
2.5.1 Kräftesysteme im Boden.....	44
2.5.1.1 Das Teilchengewicht.....	44
2.5.1.2 Über die feste Phase übertragene Auflagerkräfte.....	44
2.5.1.3 Über die flüssige (oder die gasförmige) Phase übertragene Kräfte.....	45
2.5.1.4 Kräfte zwischen Oberflächen benachbarter Teilchen.....	45
2.5.2 Stabilität als Gleichgewicht der Kräfte.....	46
2.5.3 Scherwiderstand als Bodeneigenschaft.....	47
2.5.3.1 Scherwiderstand des Bodens und seine Erfassung.....	47
2.5.3.2 Beeinflussung des Scherwiderstands durch Bodensubstanzen.....	49

2.5.4	Konsistenz.....	51
2.5.5	Fließverhalten (Rheologie).....	52
2.6	Drücke und Spannungen im Boden.....	55
2.6.1	Spannungsverteilungen und ihre Parameter.....	55
2.6.2	Vertikale Spannungskomponente.....	57
2.6.3	Horizontale Spannungskomponente.....	58
2.6.4	Spannungszustände im Boden.....	62
2.6.4.1	Erfassung des Spannungszustands.....	62
2.6.4.2	Vertikale Spannungsverteilungen in Böden.....	64
2.6.4.2.1	Anthropogen komprimierte Böden.....	65
2.6.4.2.2	Natürliche Lockerungen und Sackungen.....	65
2.6.4.2.3	Einfluß des Wassers.....	66
2.6.4.3	Spannungsverteilungen unter begrenzten Lasten.....	67
2.6.5	Grundbruch.....	69
2.7	Veränderungen der Lagerung durch mechanische Einflüsse.....	72
2.7.1	Auswirkungen menschlicher Eingriffe.....	72
2.7.2	Auswirkungen von Tiertätigkeit und Pflanzenwuchs.....	75
2.7.3	Auswirkungen des Gefrierens.....	77
2.8	Literatur.....	79
<b>3</b>	<b>Wechselwirkungen zwischen Wasser und Boden.....</b>	<b>81</b>
3.1	Wasseradsorption.....	81
3.1.1	Mechanismen der Adsorption.....	81
3.1.2	Eigenschaften des adsorbierten Wassers.....	83
3.2	Flockung und Peptisation.....	85
3.3	Schrumpfung.....	87
3.3.1	Ursachen der Schrumpfung.....	88
3.3.2	Schrumpfung in Böden.....	91
3.4	Quellung.....	92
3.4.1	Ursachen der Quellung und Quellungsdrücke.....	92
3.4.2	Hemmung der Quellung.....	95
3.5	Rißbildungen.....	97
3.6	Wasser als Stabilitätsfaktor.....	101
3.6.1	Statischer Wasserdruck.....	101
3.6.2	Strömungsdruck.....	104
3.7	Benetzungseigenschaften.....	106
3.7.1	Benetzung und Benetzungswinkel.....	107
3.7.2	Benetzbarkeit von Böden.....	110
3.8	Elektrische Strömungspotentiale.....	112
3.9	Literatur.....	113
<b>4</b>	<b>Verbreitung und Hydrostatik des Bodenwassers.....</b>	<b>115</b>
4.1	Verbreitung und Herkunft des Wassers.....	115
4.2	Kräfte im Bodenwasser.....	116
4.3	Die Grundwasseroberfläche als Bezugspunkt.....	118
4.4	Potential des Bodenwassers.....	119
4.4.1	Gesamtpotentiale und Teilpotentiale.....	121
4.4.1.1	Das Matrixpotential.....	122

4.4.1.2	Das Gravitationspotential.....	122
4.4.1.3	Das osmotische Potential.....	123
4.4.1.4	Das Auflastpotential.....	123
4.4.1.5	Das Druckpotential.....	124
4.4.2	Kombination von Teilpotentialen.....	125
4.4.3	Meßgeräte.....	126
4.5	Potentialgleichgewicht.....	128
4.6	Wasserspannung und Wassergehalt.....	131
4.6.1	Einfluß der Körnung auf die Wasserspannungskurve.....	132
4.6.2	Einfluß des Gefüges auf die Wasserspannungskurve.....	132
4.6.3	Hysteresis der Wasserspannungskurve.....	134
4.6.4	Bestimmung der Wasser Spannung skurve.....	135
4.6.5	Mathematische Beschreibung der Wasserspannungskurve.....	136
4.7	Literatur.....	137
<b>5</b>	<b>Wasserbewegung im Boden.....</b>	<b>138</b>
5.1	Eigenschaften von Wasserbewegungen im Boden.....	138
5.1.1	Strömungsfelder.....	141
5.1.2	Rand- und Grenzbedingungen.....	142
5.1.3	Eindimensionale Strömung.....	143
5.1.4	Zwei- und dreidimensionale Strömungen.....	146
5.2	Ungesättigter Fluß.....	149
5.3	Nichtstationärer Fluß.....	152
5.3.1	Verwendung der Diffusionsgleichung.....	155
5.4	Wasserleitfähigkeit des Bodens.....	156
5.5	Dampfförmiger Wassertransport.....	164
5.6	Literatur.....	165
<b>6</b>	<b>Wasserhaushalt im Boden.....</b>	<b>166</b>
6.1	Grund- und Stauwasser.....	168
6.2	Gang der Wasserspannungen.....	171
6.3	Kennwerte des Wasserhaushalts.....	178
6.3.1	Feldkapazität.....	178
6.3.2	Permanenter Welkepunkt.....	180
6.3.3	Hygroskopizität.....	181
6.4	Infiltration.....	181
6.5	Dränung.....	186
6.6	Evaporation.....	194
6.7	Literatur.....	198
<b>7</b>	<b>Die Gasphase im Boden.....</b>	<b>200</b>
7.1	Mengen und Verteilungen der Gasphase.....	200
7.2	Energetische Lage der Gasphase.....	201
7.3	Zusammensetzung der Gasphase.....	203
7.4	Transportvorgänge.....	205
7.4.1	Diffusion.....	205
7.4.2	Massenfluß.....	207
7.4.3	Umverteilungen.....	208

7.5	Gashaushalt.....	210
7.6	Literatur.....	214
<b>8</b>	<b>Das thermische Verhalten des Bodens</b> .....	<b>215</b>
8.1	Verteilung der Wärme im Boden.....	215
8.2	Wärmequellen.....	216
8.3	Thermische Eigenschaften des Bodens.....	218
8.3.1	Wärmekapazität.....	218
8.3.2	Wärmeleitfähigkeit.....	220
8.3.3	Temperaturleitfähigkeit.....	222
8.3.4	Absorption.....	222
8.4	Wärmetransportmechanismen.....	223
8.5	Wärmehaushalt im Boden.....	225
8.6	Gefrieren des Wassers und seine Folgen.....	229
8.6.1	Gefriervorgang und Eisbildung.....	229
8.6.2	Gefriervorgang und Wasserbewegung.....	230
8.6.3	Gefügebildung.....	232
8.7	Literatur.....	233
<b>9</b>	<b>Der Pflanzenstandort und seine physikalische Veränderung</b> .....	<b>235</b>
9.1	Bedürfnisse der Pflanzen hinsichtlich der Wasserversorgung.....	235
9.2	Interaktionen zwischen mechanischen und hydraulischen Vorgängen ...	239
9.2.1	Mechanische Bodendeformation.....	239
9.2.2	Wechselwirkungen zwischen hydraulischen Porenfunktionen und mechanischen Kenngrößen.....	242
9.2.3	Dynamik physikalischer Boden Kenngrößen als Grundlage zur Beurteilung von Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen.....	243
9.3	Eingriffe in das hydraulische Spannungssystem.....	244
9.3.1	Entwässerung.....	244
9.3.2	Bewässerung.....	247
9.3.3	Perkolationen.....	248
9.4	Eingriffe in das mechanische Spannungssystem.....	250
9.4.1	Verdichtung.....	250
9.4.2	Lockerung.....	251
9.4.3	Materialumlagerungen.....	252
9.5	Literatur.....	253
<b>10</b>	<b>Erosion</b> .....	<b>255</b>
10.1	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten.....	255
10.1.1	Ablösung von Teilchen und Aggregaten.....	256
10.1.2	Transport und Ablagerung.....	259
10.2	Ansätze für Abhilfemaßnahmen.....	260
10.2.1	Erodierbarkeit.....	261
10.2.2	Erodierende Wirkung.....	263
10.3	Erosionsgleichungen.....	264
10.3.1	Bodenerosion durch Wasser.....	264
10.3.2	Bodenerosion durch Wind.....	267
10.4	Literatur.....	267

---

<b>11</b>	<b>Filterung und Dekontamination</b> .....	269
11.1	Filtervorgänge in Böden.....	269
11.1.1	Typen von Filtern.....	269
11.1.2	Böden als Filter.....	271
11.2	Säuberung und Regeneration von Filtern.....	273
11.3	Verdrängungsvorgänge.....	274
11.3.1	Durchtrittskurve.....	274
11.3.2	Hydrodynamische Dispersion.....	278
11.3.3	Molekulare Diffusion.....	279
11.3.4	Adsorption und Austausch.....	280
11.3.5	Weitere Einflußfaktoren.....	281
11.4	Erfassung der Wirksamkeit eines Filters.....	282
11.5	Folgerungen im Hinblick auf Förderung erwünschter Vorgänge.....	283
11.5.1	Rückhaltung von Inhaltsstoffen im Filterbereich.....	284
11.5.2	Auswaschung von Salzen, Schadstoffen und anderen Substanzen.....	285
11.6	Literatur.....	286
<b>12</b>	<b>Weiterführende Literatur</b> .....	289
12.1	Spezielle Lehrbücher und Monographien.....	289
12.2	Sammelreferate.....	290
12.3	Berichte von Symposien und Tagungen.....	290
	<b>Häufige Umrechnungen</b> .....	291
	<b>Sachregister</b> .....	295