



dandelion.com

© 2008 AGI-Information Management Consultants
may be used for personal purposes only or by
libraries associated to dandelion.com network.

Karl Heinrich Hartge und Rainer Horn

Die physikalische Untersuchung von Böden

2., völlig neu bearbeitete Auflage

51 Abbildungen, 12 Tabellen



Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1989

Inhalt

Einleitung	1
1 Der Zusammenhang zwischen Fragestellung, Probenahme und Ergebnis	3
1.1 Das Prinzip des Beurteilens	3
1.1.1 Vergleichen, Skalieren, Klassifizieren	3
1.1.2 Meßwerte und Schätzwerte	3
1.1.3 Richtigkeit, Reproduzierbarkeit, Genauigkeit	4
1.2 Auswahlprinzipien für Probeentnahmen	4
1.2.1 Probenanzahl, Flächencharakterisierung	5
1.2.2 Probenanzahl, Profilcharakterisierung	5
1.2.3 Probengröße	5
1.3 Fehlermöglichkeiten	6
1.3.1 Methodenwahl	6
1.3.2 Statistische Aspekte der Fehler	6
1.3.3 Sicherheitsmaßnahmen gegen Fehler	7
1.4 Darstellung der Ergebnisse	7
1.4.1 Grundwerte	7
1.4.2 Weitere Auswertung	8
1.5 Protokoll bzw. Laborkladde	9
1.6 Literatur	9
2 Die Entnahme von Bodenproben	10
2.1 Problemstellung	10
2.2 Gestörte Proben aus dem Oberboden	10
2.2.1 Geräte	10
2.2.2 Entnahme und Verpackung der Proben	11
2.2.3 Auswertung der Ergebnisse	12
2.3 Ungestörte Proben aus dem Oberboden	12
2.3.1 Geräte	12
2.3.2 Entnahme und Verpackung der Probe	12
2.3.3 Verarbeitung der Proben	14
2.3.4 Auswertung der Ergebnisse	14
2.3.5 Wahl der Zylindergröße	14
2.4 Gestörte Proben aus verschiedenen Profiltiefen bis etwa 1 m	14
2.4.1 Geräte	15
2.4.2 Entnahme und Verpackung kleiner Proben	15
2.4.3 Entnahme und Verpackung größerer Bodenmengen	16
2.4.4 Verarbeitung der Proben	16
2.5 Ungestörte Proben aus verschiedenen Profiltiefen bis etwa 1 m	16
2.5.1 Geräte	17

2.5.2	Entnahme der Proben aus Profilgruben und Verpackung	17
2.5.3	Entnahme aus nicht betretbarer Profilgrube	18
2.5.4	Verarbeitung der Proben	19
2.5.5	Auswertung der Ergebnisse	20
2.6	Zusätzliche Literatur	20
3	Bestimmung des Wassergehaltes	21
3.1	Problemstellung	21
3.2	Bestimmung durch Trocknung bei 105°C im Trockenschrank	21
3.2.1	Prinzip der gravimetrischen Bestimmung	21
3.2.2	Geräte	22
3.2.3	Durchführung der Bestimmung	22
3.2.4	Berechnung der Ergebnisse	23
3.2.5	Ergebnisse und Fehler	24
3.2.6	Bemerkungen	25
3.2.7	Handhabung eines Exsikkators	26
3.3	Weitere Methoden zur Wassergehaltsbestimmung	26
3.3.1	Trocknungsverfahren mit gravimetrischer Bestimmung	26
3.3.2	Verfahren ohne Trocknung	27
3.4	Rechenbeispiel	27
3.5	Literatur	28
4	Bestimmung der Korngrößenverteilung	29
4.1	Problemstellung	29
4.2	Vorbehandlung (Dispergierung)	29
4.2.1	Zweck und Ausmaß	29
4.2.2	Geräte	30
4.2.3	Durchführung von Vorbehandlung und Einwaage	30
4.3	Bestimmung der Anteile der Kornfraktion durch Siebung	32
4.3.1	Prinzip der Methode	32
4.3.2	Geräte	32
4.3.3	Durchführung der Bestimmung	32
4.3.4	Auswertung der Ergebnisse	34
4.4	Bestimmung der Anteile der Kornfraktion mit Hilfe der korngrößenbedingten Sinkgeschwindigkeit	34
4.4.1	Prinzip der Methode	34
4.4.2	Geräte für die Sedimentationsmethode	35
4.4.3	Durchführung der Bestimmung (Sedimentationsmethode)	35
4.4.4	Auswertung der Ergebnisse	38
4.4.5	Bemerkungen	39
4.5	Ergebnisse und Fehler	40
4.5.1	Darstellung der Verteilungen	40
4.5.2	Fehler der Bestimmungen, Anwendungsbereiche	41
4.5.3	Häufig vorkommende Korngrößenverteilungen	42
4.6	Zeichnen einer Summenkurve	42
4.7	Rechenbeispiele	44
4.8	Weitere Methoden	45
4.9	Literatur	46

5	Die Bestimmung der Dichte des Bodens	47
5.1	Problemstellung	47
5.2	Bestimmung der Dichte des Bodens an Proben mit bekanntem Volumen (Stechzylindermethode)	47
5.2.1	Prinzip der Methode	47
5.2.2	Geräte	48
5.2.3	Durchführung der Bestimmung	48
5.2.4	Berechnung der Ergebnisse	49
5.2.5	Rechenbeispiel	50
5.2.6	Bemerkungen	50
5.3	Bestimmung der Dichte des Bodens ohne Stechzylinder (Volumenersatzmethoden)	50
5.3.1	Prinzip der Methoden	50
5.3.2	Geräte	51
5.3.3	Durchführung der Bestimmung	51
5.3.4	Rechenbeispiel	54
5.3.5	Bemerkungen	55
5.4	Literatur	55
6	Bestimmung der Dichte der festen Bodensubstanz	56
6.1	Problemstellung	56
6.2	Prinzip der Methode	56
6.3	Geräte	56
6.4	Durchführung der Bestimmung (Tauchwägung)	57
6.4.1	Aufbereitung der Proben, Bestimmung des Trockengewichts	57
6.4.2	Vorbereitung der Tauchwägung	57
6.4.3	Die Tauchwägung	58
6.4.4	Ergänzende Bestimmungen	59
6.4.5	Bemerkungen	59
6.5	Berechnung der Ergebnisse	59
6.6	Ergebnisse und Fehler	60
6.6.1	Häufigste Werte der Dichte	60
6.6.2	Fehler der Bestimmung	60
6.7	Rechenbeispiel	61
6.8	Weitere Methoden	61
6.8.1	Arbeitsweise mit Volumenablesungen (Pyknometrie)	61
6.8.2	Bestimmungen mit Hilfe verschieden schwerer Lösungen	62
6.9	Literatur	62
7	Bestimmung des Porenraumes (Porenvolumen, Porosität, Porenziffer)	63
7.1	Problemstellung	63
7.2	Bestimmung durch Berechnung aus Dichtewerten	63
7.3	Bestimmung durch direkte Messung	64
7.4	Ergebnisse und Fehler	65
7.4.1	Häufige Werte des Porenvolumen (PV bzw. n)	65
7.4.2	Häufige Werte der Porenziffer (PZ bzw. ϵ)	66
7.4.3	Fehler der Bestimmungen	66

7.5	Rechenbeispiele	66
7.6	Literatur	67
8	Bestimmung des Drucksetzungsverhaltens	68
8.1	Problemstellung	68
8.2	Drucksetzungsmessung	68
8.2.1	Prinzip der Methode	68
8.2.2	Geräte	69
8.2.3	Durchführung der Bestimmung	70
8.3	Ergebnisse und Fehler	72
8.3.1	Ermittlung der Porenziffer	72
8.3.2	Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis	73
8.3.3	Häufige Werte	75
8.3.4	Fehler der Bestimmung	75
8.4	Bemerkungen	76
8.5	Rechenbeispiele	76
8.6	Weitere Methoden	77
8.7	Literatur	77
9	Bestimmung der Scherparameter	78
9.1	Problemstellung	78
9.2	Der direkte Scherversuch	78
9.2.1	Prinzip der Methode	78
9.2.2	Geräte	79
9.2.3	Einrichtung des Kreisschergerätes	80
9.2.4	Durchführung des Scherversuches	81
9.3	Auswertung der Messungen	82
9.4	Ergebnisse und Fehler	82
9.4.1	Häufigste Werte der Scherparameter	82
9.4.2	Fehler	83
9.5	Rechenbeispiele	84
9.6	Andere Methoden	85
9.7	Literatur	85
10	Bestimmung der Wasserspannungskurve	86
10.1	Problemstellung	86
10.2	Unterdruckmethode	86
10.2.1	Prinzip der Methode	86
10.2.2	Geräte	87
10.2.3	Durchführung der Bestimmung	88
10.2.4	Auswertung der Ergebnisse	90
10.2.5	Bemerkungen	91
10.2.6	Ergänzende Arbeiten	93
10.3	Überdruckmethode	94
10.3.1	Prinzip der Methode	94
10.3.2	Geräte	94
10.3.3	Durchführung der Bestimmung	95

10.3.4	Auswertung der Ergebnisse	96
10.3.5	Bemerkungen	96
10.4	Vergleich der Druck- mit der Saugmethode	98
10.4.1	Prinzipielle Unterschiede	98
10.4.2	Arbeitstechnische Unterschiede	98
10.5	Ergebnisse und Fehler	99
10.5.1	Darstellung der Ergebnisse	99
10.5.2	Fehler der Ergebnisse	100
10.5.3	Häufig vorkommende Ergebnisse	102
10.6	Bemerkungen	102
10.6.1	Be- und Entwässerungskurven	102
10.6.2	Zeitbedarf für die Einstellung des Gleichgewichtes zwischen Wassergehalt und Wasserspannung	103
10.7	Rechenbeispiele	104
10.8	Weitere Methoden	104
10.8.1	Zentrifugalmethode	104
10.8.2	Dampfdruckgleichgewichte	105
10.8.3	Nomographische Bestimmung mittels Körnungssummenkurven	105
10.9	Literatur	105
11	Aggregatstabilität (Wasserstabilität)	106
11.1	Problemstellung	106
11.2	Prinzip der Methode (Naßsiegung)	107
11.3	Geräte	107
11.4	Durchführung der Bestimmung	107
11.4.1	Vorbereitung der Proben (Lufttrocknung, Oberflächenproben)	107
11.4.2	Die Naß-Siegung	109
11.4.3	Verfahren unter Umgehung der Trocknung (Proben aus Unterboden und Untergrund)	109
11.5	Auswertung der Ergebnisse	110
11.5.1	Das Stabilitätsmaß	110
11.5.2	Die graphische Auswertung	110
11.5.3	Die rechnerische Auswertung	111
11.5.4	Ergebnisse und Fehler	112
11.6	Bemerkungen	112
11.6.1	Charakterisierung der Aggregierung eines Bodens	112
11.6.2	Verklebungen	112
11.7	Rechenbeispiel	113
11.8	Andere Methoden	113
11.9	Literatur	113
12	Bestimmung der Wasserleitfähigkeit	114
12.1	Problemstellung	114
12.1.1	Fließwiderstand und Wasserleitfähigkeit	114
12.1.2	Gesättigte und ungesättigte Wasserleitfähigkeit	114
12.1.3	Anwendungsbereiche	114
12.2	Prinzip der Methode	115

12.2.1	Die Darcy-Gleichung	115
12.2.2	Dimensionen und Einheiten des Koeffizienten k	115
12.2.3	Ungestörte Lagerung	116
12.3	Gesättigte Wasserleitfähigkeit	116
12.3.1	Meßprinzip	116
12.3.2	Geräte	117
12.3.3	Durchführung der Bestimmung	118
12.3.4	Berechnung der Ergebnisse	121
12.4	Ungesättigte Wasserleitfähigkeit	121
12.4.1	Meßanordnungen	121
12.4.2	Messung mit direkter Ablesung	122
12.4.3	Berechnung aus zeitlicher Veränderung der Wasserspannung	124
12.4.4	Berechnung der Ergebnisse	127
12.5	Ergebnisse und Fehler	129
12.5.1	Gesättigte Wasserleitfähigkeit	129
12.5.2	Ungesättigte Wasserleitfähigkeit	131
12.6	Rechenbeispiele	133
12.6.1	Gesättigte Wasserleitfähigkeit	133
12.6.2	Ungesättigte Wasserleitfähigkeit	134
12.7	Weitere Methoden	135
12.7.1	Gesättigte Wasserleitfähigkeit	135
12.7.2	Ungesättigte Wasserleitfähigkeit	135
12.8	Literatur	136
13	Messung des Matrixpotentials (der Wasserspannung) im Boden	137
13.1	Problemstellung	137
13.2	Tensiometer	137
13.2.1	Prinzip der Methode	137
13.2.2	Geräte	138
13.2.3	Durchführung der Bestimmung	139
13.2.4	Ergebnisse und Fehler	142
13.2.5	Bemerkungen	142
13.2.6	Freilandtensiometer	143
13.3	Die Gipsblockelektrode	144
13.3.1	Prinzip der Methode	144
13.3.2	Geräte	145
13.3.3	Durchführung der Bestimmung	145
13.3.4	Auswertung der Ergebnisse	149
13.3.5	Fehler bei Bestimmung	149
13.3.6	Bemerkungen	150
13.4	Häufig im Boden vorkommende Wasserspannungen	151
13.4.1	Allgemeine Größenordnungen	151
13.4.2	Der Jahresgang	151
13.4.3	Einfluß der Bodenart (Porengrößenverteilung)	151
13.4.4	Der Einfluß der Tiefe im Profil	152
13.5	Rechenbeispiele	153
13.5.1	Tensiometer	153

13.5.2	Gipsblockelektrode	153
13.6	Weitere Methoden	153
13.7	Literatur	154
14	Bestimmung des Eindringwiderstandes des Bodens mit der Schlagsonde	155
14.1	Problemstellung	155
14.2	Prinzip der Methode	156
14.3	Geräte	156
14.4	Durchführung der Bestimmung	156
14.4.1	Die Schlagtechnik	156
14.4.2	Die Meßpunkte	158
14.5	Auswertung der Ergebnisse	158
14.5.1	Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Tiefe im Boden	158
14.5.2	Linien gleichen Eindringwiderstandes	159
14.6	Ergebnisse und Fehler	160
14.6.1	Natur der Unterschiede	160
14.6.2	Häufige Ergebnisse	160
14.6.3	Streuungen	160
14.7	Bemerkungen	161
14.8	Weitere Methoden	161
14.8.1	Einfachste Schlagsonden und Aushilfsmethoden	161
14.8.2	Sonden mit anderen Meßprinzipien	161
14.9	Literatur	162
15	Auswertung räumlich zuordnungsfähiger Meßwerte	163
15.1	Problemstellung	163
15.2	Prinzip der Methode	163
15.3	Durchführung der Auswertung	164
15.3.1	Datenfeld aus statischen Meßwerten	164
15.3.2	Datenfeld aus statischen Meßwerten, dazu einzelne Daten über Bewegungs-(Fluß)vorgänge	166
15.3.3	Datenfeld aus drei Meßwerten	169
15.4	Bemerkungen zu Homogenitäts- und Kontinuitätsbedingungen	170
15.5	Literatur	170
Anhang	171
I	Hinweise auf arbeitstechnische Hilfsmittel	171
II	Schema zur Umrechnung von Meßwerten verschiedener Einheiten	172
Sachregister	173