Die physikalische Untersuchung von Böden

Karl Heinrich Hartge und Rainer Horn

4. Auflage
# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort............................................................................................................................. XIII

## 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 Probenentnahmen ................................................................... 4

1.2.1 Probenanzahl, Flächencharakterisierung .............................................................. 4

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 .......................................................................................... 8

1.4.1 Grundwerte ............................................................................................................ 8

1.4.2 Weitere Auswertungen .......................................................................................... 8

1.5 Protokoll, Laborkladde und Datensicherung auf dem PC ......................................... 9

1.6 Literatur ........................................................................................................................ 10

2 Die Entnahme von Bodenproben...................................................................................... 11

2.1 Problemstellung .......................................................................................................... 11

2.2 Gestörte Proben aus dem Oberboden .......................................................................... 11

2.2.1 Geräte .................................................................................................................... 11

2.2.2 Entnahme und Verpackung der Proben ............................................................... 11

2.2.3 Auswertung der Ergebnisse .................................................................................. 12

2.3 Ungestörte Proben aus dem Oberboden (Volumenproben) ....................................... 13

2.3.1 Geräte .................................................................................................................... 13

2.3.2 Entnahme und Verpackung der Probe .................................................................. 13

2.3.3 Vorarbeiten an den Proben .................................................................................. 14

2.3.4 Wahl der Zylindergröße, Notlösung bei Zylindermangel ..................................... 14

2.4 Gestörte Proben aus verschiedenen Profiltiefen bis etwa 1 m ................................ 15

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 ..................................................................................... 17

2.5 Ungestörte Proben aus verschiedenen Profiltiefen bis etwa 1 m ................................ 17

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 ..................................................................................... 20

2.5.5 Auswertung der Ergebnisse .................................................................................. 20

2.6 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 ................................................................................................................. 21
3.2.3 Durchführung der Bestimmung ....................................................................... 22
3.2.4 Berechnung der Ergebnisse ........................................................................... 22
3.2.5 Ergebnisse und Fehler .................................................................................... 23
3.2.6 Bemerkungen .................................................................................................... 24
3.2.7 Handhabung eines Exsikkators ..................................................................... 25
3.3 Weitere Methoden zur Wassergehaltsbestimmung ............................................. 25
3.3.1 Trocknungsverfahren mit gravimetrischer Bestimmung ................................. 25
3.3.2 Verfahren ohne Trocknung ............................................................................. 26
3.4 Rechenbeispiel ....................................................................................................... 26
3.5 Literatur .................................................................................................................. 27

4 Bestimmung der Korngrößenverteilung .................................................................. 28
4.1 Problemstellung ....................................................................................................... 28
4.2 Vorbehandlung (Dispergierung) .......................................................................... 28
4.2.1 Zweck und Ausmaß .......................................................................................... 28
4.2.2 Geräte ............................................................................................................... 29
4.2.3 Durchführung von Vorbehandlung und Einwaage ........................................ 29
4.3 Bestimmung der Anteile der Kornfraktion durch Siebung ................................. 30
4.3.1 Prinzip der Methode ....................................................................................... 30
4.3.2 Geräte ............................................................................................................... 31
4.3.3 Durchführung der Bestimmung ....................................................................... 31
4.3.4 Auswertung der Ergebnisse ............................................................................ 32
4.4 Bestimmung der Anteile der Kornfraktionen mit Hilfe der korngrößen- .......... 32
bedingten Sinkgeschwindigkeit .............................................................................. 32
4.4.1 Prinzip der Methode ....................................................................................... 32
4.4.2 Geräte für die Sedimentationsmethode ........................................................... 33
4.4.3 Durchführung der Bestimmung (Sedimentationsmethode) ......................... 33
4.4.4 Auswertung der Ergebnisse ............................................................................ 35
4.4.5 Bemerkungen ................................................................................................... 36
4.5 Ergebnisse und Fehler .......................................................................................... 37
4.5.1 Darstellung der Verteilungen ........................................................................ 37
4.5.2 Fehler der Bestimmungen, Anwendungsbereiche ......................................... 38
4.5.3 Häufig vorkommende Korngrößenverteilungen ............................................. 39
4.6 Zeichnen einer Summenkurve ............................................................................ 40
4.7 Rechenbeispiele ..................................................................................................... 41
4.8 Weitere Methoden ................................................................................................. 41
4.9 Literatur .................................................................................................................. 42

5 Die Bestimmung der Dichte des Bodens ................................................................. 43
5.1 Problemstellung ..................................................................................................... 43
5.2 Bestimmung der Dichte des Bodens an Proben mit bekanntem Volumen ......... 43
5.2.1 Prinzip der Methode ....................................................................................... 43
5.2.2 Geräte ............................................................................................................... 44
5.2.3 Durchführung der Bestimmung ....................................................................... 44
5.2.4 Berechnung der Dichte ................................................................................... 44
5.2.5 Rechenbeispiele ............................................................................................... 44
5.2.6 Bemerkungen .................................................................................................. 45
5.3 Bestimmung der Dichte (Volumenersatzverfahren) ........................................... 45
5.3.1 Prinzip der Methode ....................................................................................... 45
5.3.2 Geräte ............................................................................................................... 45
5.3.3 Durchführung der Bestimmung ...................................................................... 46
5.3.4 Rechenbeispiele ............................................................................................... 46
5.3.5 Bemerkungen .................................................................................................. 47
5.4 Literatur .................................................................................................................. 47

6 Bestimmung der Bodenfeuchte ............................................................................... 48
6.1 Problemstellung ..................................................................................................... 48
6.2 Prinzip der Methode ............................................................................................. 48
6.3 Geräte ..................................................................................................................... 49
6.4 Durchführung der Bestimmung .......................................................................... 49
6.4.1 Aufbereitung der Proben ................................................................................. 49
6.4.2 Vorbereitung der Proben ............................................................................... 50
6.4.3 Die Tauchwägung ........................................................................................... 50
6.4.4 Ergänzende Bemerkungen ............................................................................. 51
6.4.5 Berechnung der Ergebnisse .......................................................................... 52
6.5 Ergebnisse und Fehler .......................................................................................... 53
6.6 Häufigste Werte ..................................................................................................... 54
6.6.1 Fehler der Bestimmung .................................................................................. 54
6.6.2 Rechenbeispiel ............................................................................................... 55
6.6.3 Weitere Methoden ........................................................................................... 56
6.6.4 Arbeitsweise mit anderen Methoden ............................................................... 56
6.6.5 Bestimmungsklassen ...................................................................................... 57
6.6.6 Literatur ............................................................................................................ 57

7 Bestimmung der Bodenkörnung ............................................................................... 58
7.1 Problemstellung ..................................................................................................... 58
7.2 Bestimmung der Bodenkörnung ......................................................................... 58
7.3 Ergebnisse und Fehler .......................................................................................... 59
7.4 Häufige Werte ....................................................................................................... 59
7.4.1 Fehler der Bestimmung .................................................................................. 59
7.4.2 Rechenbeispiele ............................................................................................. 60
7.4.3 Weitere Methoden ........................................................................................... 60
7.5 Literatur .................................................................................................................. 61

8 Bestimmung der Bodenart ....................................................................................... 62
8.1 Problemstellung ..................................................................................................... 62
8.1.1 Der einachsiale Drucksetzverfahren .............................................................. 62
8.1.2 Prinzip der Methode ...................................................................................... 62
8.1.3 Geräte ................................................................................................................. 63
8.1.4 Durchführung der Bestimmung .................................................................... 63
8.1.5 Ergebnisse und Fehler .................................................................................. 64
8.1.6 Rechenbeispiele .............................................................................................. 64
8.1.7 Bemerkungen .................................................................................................. 65
8.2 Literatur .................................................................................................................. 65
<table>
<thead>
<tr>
<th>Inhaltsschlagwort</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>5.2.4 Berechnung der Ergebnisse</td>
<td>45</td>
</tr>
<tr>
<td>5.2.5 Rechenbeispiel</td>
<td>45</td>
</tr>
<tr>
<td>5.2.6 Bemerkungen</td>
<td>45</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3 Bestimmung der Dichte des Bodens ohne Stechzylinder (Volumenersatzmethoden)</td>
<td>46</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.1 Prinzip der Methoden</td>
<td>46</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.2 Geräte</td>
<td>46</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.3 Durchführung der Bestimmung</td>
<td>47</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.4 Rechenbeispiel</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.5 Bemerkungen</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>5.4 Literatur</td>
<td>50</td>
</tr>
<tr>
<td>6 Bestimmung der Dichte der festen Bodensubstanz</td>
<td>51</td>
</tr>
<tr>
<td>6.1 Problemstellung</td>
<td>51</td>
</tr>
<tr>
<td>6.2 Prinzip der Methode</td>
<td>51</td>
</tr>
<tr>
<td>6.3 Geräte</td>
<td>51</td>
</tr>
<tr>
<td>6.4 Durchführung der Bestimmung (Tauchwägung)</td>
<td>52</td>
</tr>
<tr>
<td>6.4.1 Aufbereitung der Proben, Bestimmung des Trockengewichtes</td>
<td>52</td>
</tr>
<tr>
<td>6.4.2 Vorbereitung der Tauchwägung</td>
<td>52</td>
</tr>
<tr>
<td>6.4.3 Die Tauchwägung</td>
<td>53</td>
</tr>
<tr>
<td>6.4.4 Ergänzende Bestimmungen</td>
<td>53</td>
</tr>
<tr>
<td>6.4.5 Bemerkungen</td>
<td>54</td>
</tr>
<tr>
<td>6.5 Berechnung der Ergebnisse</td>
<td>54</td>
</tr>
<tr>
<td>6.6 Ergebnisse und Fehler</td>
<td>54</td>
</tr>
<tr>
<td>6.6.1 Häufigste Werte der Dichte</td>
<td>54</td>
</tr>
<tr>
<td>6.6.2 Fehler der Bestimmung</td>
<td>55</td>
</tr>
<tr>
<td>6.6.3 Rechenbeispiel</td>
<td>55</td>
</tr>
<tr>
<td>6.7 Weitere Methoden</td>
<td>56</td>
</tr>
<tr>
<td>6.8 Arbeitsweise mit Volumenablesungen (Pyknometrie)</td>
<td>56</td>
</tr>
<tr>
<td>6.9 Bestimmungen mit Hilfe verschieden schwerer Lösungen</td>
<td>56</td>
</tr>
<tr>
<td>6.9 Literatur</td>
<td>56</td>
</tr>
<tr>
<td>7 Bestimmung des Porenraumes (Porenvolumen, Porosität, Porenziffer)</td>
<td>57</td>
</tr>
<tr>
<td>7.1 Problemstellung</td>
<td>57</td>
</tr>
<tr>
<td>7.2 Bestimmung durch Berechnung aus Dichtewerten</td>
<td>57</td>
</tr>
<tr>
<td>7.3 Bestimmung durch direkte Messung</td>
<td>58</td>
</tr>
<tr>
<td>7.4 Ergebnisse und Fehler</td>
<td>58</td>
</tr>
<tr>
<td>7.4.1 Häufige Werte des Porenvolumens (PV bzw. n)</td>
<td>58</td>
</tr>
<tr>
<td>7.4.2 Häufige Werte der Porenziffer (PZ bzw. €)</td>
<td>59</td>
</tr>
<tr>
<td>7.4.3 Fehler der Bestimmungen</td>
<td>60</td>
</tr>
<tr>
<td>7.5 Rechenbeispiele</td>
<td>60</td>
</tr>
<tr>
<td>7.6 Literatur</td>
<td>61</td>
</tr>
<tr>
<td>8 Bestimmung des Drucksetzungsverhaltens</td>
<td>62</td>
</tr>
<tr>
<td>8.1 Problemstellung</td>
<td>62</td>
</tr>
<tr>
<td>8.1.1 Der einachsiale Zylinderdruckversuch mit seitlicher Begrenzung</td>
<td>62</td>
</tr>
<tr>
<td>8.2 DrucksetzungsMESSUNG</td>
<td>62</td>
</tr>
<tr>
<td>8.2.1 Prinzip der Methode</td>
<td>62</td>
</tr>
<tr>
<td>8.2.2 Geräte</td>
<td>63</td>
</tr>
<tr>
<td>8.2.3 Durchführung der Bestimmung</td>
<td>64</td>
</tr>
</tbody>
</table>
### Inhaltsverzeichnis

8.3 Ergebnisse und Fehler ................................................. 66
8.3.1 Ermittlung der Porenziffer ................................. 66
8.3.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ..... 66
8.3.3 Häufige Werte ....................................................... 67
8.3.4 Fehler der Bestimmung .......................................... 69
8.4 Bemerkungen ............................................................. 69
8.5 Rechenbeispiele ......................................................... 70
8.6 Weitere Methoden ..................................................... 70
8.7 Literatur ................................................................. 71

9 Bestimmung der Scherparameter .................................... 72
9.1 Problemstellung ......................................................... 72
9.2 Der direkte Scherversuch ............................................ 72
9.2.1 Prinzip der Methode ............................................. 72
9.2.2 Geräte ............................................................... 73
9.2.3 Einrichtung des Kreisringschergerätes ................. 74
9.2.4 Durchführung des Scherversuches ....................... 75
9.3 Auswertung der Messungen ..................................... 75
9.4 Ergebnisse und Fehler .............................................. 76
9.4.1 Häufigste Werte der Scherparameter ................. 77
9.4.2 Fehler .............................................................. 77
9.5 Rechenbeispiele ....................................................... 77
9.6 Andere Methoden .................................................... 79
9.7 Literatur ................................................................. 80

10 Bestimmung der Wasserspannungskurve ....................... 81
10.1 Problemstellung ...................................................... 81
10.2 Unterdruckmethode ............................................... 81
10.2.1 Prinzip der Methode ......................................... 81
10.2.2 Geräte ............................................................ 82
10.2.3 Durchführung der Bestimmung ......................... 82
10.2.4 Auswertung der Ergebnisse ............................... 84
10.2.5 Bemerkungen .................................................... 85
10.2.6 Ergänzende Arbeiten ........................................ 87
10.3 Überdruckmethode .................................................. 88
10.3.1 Prinzip der Methode ......................................... 88
10.3.2 Geräte ............................................................ 88
10.3.3 Durchführung der Bestimmung ......................... 89
10.3.4 Auswertung der Ergebnisse ............................... 90
10.3.5 Bemerkungen .................................................... 90
10.4 Vergleich der Druck- mit der Saugmethode ............... 92
10.4.1 Prinzipielle Unterschiede ................................ 92
10.4.2 Arbeitstechnische Unterschiede ....................... 92
10.5 Ergebnisse und Fehler ............................................ 92
10.5.1 Darstellung der Ergebnisse ............................... 92
10.5.2 Fehler der Ergebnisse ...................................... 94
10.5.3 Häufig vorkommende Ergebnisse ..................... 94
10.6 Bemerkungen ........................................................ 95
10.6.1 Be- und Entwässerungskurven ......................... 95

11 Ergebnisse und Fehler .............................................. 66
11.1 Ermittlung der Porenziffer ..................................... 66
11.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ....... 66
11.3 Häufige Werte ....................................................... 67
11.4 Fehler der Bestimmung ........................................... 69
11.5 Bemerkungen ........................................................ 69
11.6 Rechenbeispiele ..................................................... 70
11.7 Weitere Methoden .................................................. 70
11.8 Literatur ............................................................... 71

12 Bestimmung der Scherparameter .................................. 72
12.1 Problemstellung ...................................................... 72
12.2 Der direkte Scherversuch ........................................ 72
12.2.1 Prinzip der Methode ......................................... 72
12.2.2 Geräte ............................................................ 73
12.2.3 Einrichtung des Kreisringschergerätes ............... 74
12.2.4 Durchführung des Scherversuches ..................... 75
12.3 Auswertung der Messungen ................................... 75
12.4 Ergebnisse und Fehler ............................................ 76
12.4.1 Häufigste Werte der Scherparameter ................. 77
12.4.2 Fehler .......................................................... 77
12.5 Rechenbeispiele ..................................................... 77
12.6 Andere Methoden .................................................. 79
12.7 Literatur ............................................................... 80

13 Ergebnisse und Fehler .............................................. 66
13.1 Ermittlung der Porenziffer ..................................... 66
13.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ....... 66
13.3 Häufige Werte ....................................................... 67
13.4 Fehler der Bestimmung ........................................... 69
13.5 Bemerkungen ........................................................ 69
13.6 Rechenbeispiele ..................................................... 70
13.7 Weitere Methoden .................................................. 70
13.8 Literatur ............................................................... 71

14 Bestimmung der Wasserspannungskurve ....................... 81
14.1 Problemstellung ...................................................... 81
14.2 Unterdruckmethode ............................................... 81
14.2.1 Prinzip der Methode ......................................... 81
14.2.2 Geräte ............................................................ 82
14.2.3 Durchführung der Bestimmung ......................... 82
14.2.4 Auswertung der Ergebnisse ............................... 84
14.2.5 Bemerkungen .................................................... 85
14.2.6 Ergänzende Arbeiten ........................................ 87
14.3 Überdruckmethode .................................................. 88
14.3.1 Prinzip der Methode ......................................... 88
14.3.2 Geräte ............................................................ 88
14.3.3 Durchführung der Bestimmung ......................... 89
14.3.4 Auswertung der Ergebnisse ............................... 90
14.3.5 Bemerkungen .................................................... 90
14.4 Vergleich der Druck- mit der Saugmethode ............... 92
14.4.1 Prinzipielle Unterschiede ................................ 92
14.4.2 Arbeitstechnische Unterschiede ....................... 92
14.5 Ergebnisse und Fehler ............................................ 92
14.5.1 Darstellung der Ergebnisse ............................... 92
14.5.2 Fehler der Ergebnisse ...................................... 94
14.5.3 Häufig vorkommende Ergebnisse ..................... 94
14.6 Bemerkungen ........................................................ 95
14.6.1 Be- und Entwässerungskurven ......................... 95

15 Ergebnisse und Fehler .............................................. 66
15.1 Ermittlung der Porenziffer ..................................... 66
15.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ....... 66
15.3 Häufige Werte ....................................................... 67
15.4 Fehler der Bestimmung ........................................... 69
15.5 Bemerkungen ........................................................ 69
15.6 Rechenbeispiele ..................................................... 70
15.7 Weitere Methoden .................................................. 70
15.8 Literatur ............................................................... 71

16 Ergebnisse und Fehler .............................................. 66
16.1 Ermittlung der Porenziffer ..................................... 66
16.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ....... 66
16.3 Häufige Werte ....................................................... 67
16.4 Fehler der Bestimmung ........................................... 69
16.5 Bemerkungen ........................................................ 69
16.6 Rechenbeispiele ..................................................... 70
16.7 Weitere Methoden .................................................. 70
16.8 Literatur ............................................................... 71

17 Ergebnisse und Fehler .............................................. 66
17.1 Ermittlung der Porenziffer ..................................... 66
17.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ....... 66
17.3 Häufige Werte ....................................................... 67
17.4 Fehler der Bestimmung ........................................... 69
17.5 Bemerkungen ........................................................ 69
17.6 Rechenbeispiele ..................................................... 70
17.7 Weitere Methoden .................................................. 70
17.8 Literatur ............................................................... 71

18 Ergebnisse und Fehler .............................................. 66
18.1 Ermittlung der Porenziffer ..................................... 66
18.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ....... 66
18.3 Häufige Werte ....................................................... 67
18.4 Fehler der Bestimmung ........................................... 69
18.5 Bemerkungen ........................................................ 69
18.6 Rechenbeispiele ..................................................... 70
18.7 Weitere Methoden .................................................. 70
18.8 Literatur ............................................................... 71

19 Ergebnisse und Fehler .............................................. 66
19.1 Ermittlung der Porenziffer ..................................... 66
19.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ....... 66
19.3 Häufige Werte ....................................................... 67
19.4 Fehler der Bestimmung ........................................... 69
19.5 Bemerkungen ........................................................ 69
19.6 Rechenbeispiele ..................................................... 70
19.7 Weitere Methoden .................................................. 70
19.8 Literatur ............................................................... 71

20 Ergebnisse und Fehler .............................................. 66
20.1 Ermittlung der Porenziffer ..................................... 66
20.2 Zeichnen der Drucksetzungskurve und Bestimmung von Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis ....... 66
20.3 Häufige Werte ....................................................... 67
20.4 Fehler der Bestimmung ........................................... 69
20.5 Bemerkungen ........................................................ 69
20.6 Rechenbeispiele ..................................................... 70
20.7 Weitere Methoden .................................................. 70
20.8 Literatur ............................................................... 71
<table>
<thead>
<tr>
<th>Seite</th>
<th>Kapitel</th>
<th>Unterkapitel</th>
<th>Titel</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>66</td>
<td>10.6.2</td>
<td>Zeitbedarf für die Einstellung des Gleichgewichtes zwischen Wassergehalt und Wasserspannung</td>
<td>96</td>
</tr>
<tr>
<td>67</td>
<td>10.7</td>
<td>Rechenbeispiele</td>
<td>97</td>
</tr>
<tr>
<td>69</td>
<td>10.8</td>
<td>Weitere Methoden</td>
<td>98</td>
</tr>
<tr>
<td>69</td>
<td>10.8.1</td>
<td>Zentrifugalmethode</td>
<td>98</td>
</tr>
<tr>
<td>69</td>
<td>10.8.2</td>
<td>Dampfdruckgleichgewichte</td>
<td>98</td>
</tr>
<tr>
<td>69</td>
<td>10.8.3</td>
<td>Nomographische Bestimmung mittels Körnungssummenkurven</td>
<td>98</td>
</tr>
<tr>
<td>70</td>
<td>10.9</td>
<td>Literatur</td>
<td>98</td>
</tr>
<tr>
<td>71</td>
<td>11</td>
<td>Aggregatstabilität (Wasserstabilität)</td>
<td>99</td>
</tr>
<tr>
<td>72</td>
<td>11.1</td>
<td>Problemstellung</td>
<td>99</td>
</tr>
<tr>
<td>72</td>
<td>11.2</td>
<td>Prinzip der Methode (Nasssiebung)</td>
<td>99</td>
</tr>
<tr>
<td>72</td>
<td>11.3</td>
<td>Geräte</td>
<td>100</td>
</tr>
<tr>
<td>72</td>
<td>11.4</td>
<td>Durchführung der Bestimmung</td>
<td>100</td>
</tr>
<tr>
<td>72</td>
<td>11.4.1</td>
<td>Vorbereitung der Proben (Lufttrocknung, Oberflächenproben)</td>
<td>100</td>
</tr>
<tr>
<td>73</td>
<td>11.4.2</td>
<td>Die Nasssiebung</td>
<td>101</td>
</tr>
<tr>
<td>74</td>
<td>11.4.3</td>
<td>Verfahren unter Umgehung der Trocknung (Proben aus Unterboden und Untergrund)</td>
<td>102</td>
</tr>
<tr>
<td>75</td>
<td>11.5</td>
<td>Auswertung der Ergebnisse</td>
<td>102</td>
</tr>
<tr>
<td>76</td>
<td>11.5.1</td>
<td>Das Stabilitätsmaß</td>
<td>102</td>
</tr>
<tr>
<td>77</td>
<td>11.5.2</td>
<td>Die graphische Auswertung</td>
<td>103</td>
</tr>
<tr>
<td>77</td>
<td>11.5.3</td>
<td>Die rechnerische Auswertung</td>
<td>104</td>
</tr>
<tr>
<td>77</td>
<td>11.5.4</td>
<td>Ergebnisse und Fehler</td>
<td>104</td>
</tr>
<tr>
<td>79</td>
<td>11.6</td>
<td>Bemerkungen</td>
<td>104</td>
</tr>
<tr>
<td>80</td>
<td>11.6.1</td>
<td>Charakterisierung der Aggregierung eines Bodens</td>
<td>104</td>
</tr>
<tr>
<td>81</td>
<td>11.6.2</td>
<td>Verklebungen</td>
<td>105</td>
</tr>
<tr>
<td>81</td>
<td>11.7</td>
<td>Rechenbeispiel</td>
<td>105</td>
</tr>
<tr>
<td>81</td>
<td>11.8</td>
<td>Andere Methoden</td>
<td>105</td>
</tr>
<tr>
<td>81</td>
<td>11.9</td>
<td>Literatur</td>
<td>106</td>
</tr>
<tr>
<td>82</td>
<td>12</td>
<td>Bestimmung der Wasserleitfähigkeit</td>
<td>107</td>
</tr>
<tr>
<td>82</td>
<td>12.1</td>
<td>Problemstellung</td>
<td>107</td>
</tr>
<tr>
<td>84</td>
<td>12.1.1</td>
<td>Fließwiderstand und Wasserleitfähigkeit</td>
<td>107</td>
</tr>
<tr>
<td>85</td>
<td>12.1.2</td>
<td>Gesättigte und ungesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>107</td>
</tr>
<tr>
<td>87</td>
<td>12.1.3</td>
<td>Anwendungsbereiche</td>
<td>107</td>
</tr>
<tr>
<td>88</td>
<td>12.2</td>
<td>Prinzip der Methode</td>
<td>108</td>
</tr>
<tr>
<td>88</td>
<td>12.2.1</td>
<td>Die Darcy-Gleichung</td>
<td>108</td>
</tr>
<tr>
<td>88</td>
<td>12.2.2</td>
<td>Dimensionen und Einheiten des Koeffizienten k</td>
<td>108</td>
</tr>
<tr>
<td>89</td>
<td>12.2.3</td>
<td>Ungestörte Lagerung</td>
<td>109</td>
</tr>
<tr>
<td>90</td>
<td>12.3</td>
<td>Gesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>109</td>
</tr>
<tr>
<td>90</td>
<td>12.3.1</td>
<td>Messprinzip</td>
<td>109</td>
</tr>
<tr>
<td>92</td>
<td>12.3.2</td>
<td>Geräte</td>
<td>110</td>
</tr>
<tr>
<td>92</td>
<td>12.3.2.1</td>
<td>Durchführung der Bestimmung</td>
<td>110</td>
</tr>
<tr>
<td>92</td>
<td>12.3.2.2</td>
<td>Berechnung der Ergebnisse</td>
<td>110</td>
</tr>
<tr>
<td>92</td>
<td>12.4</td>
<td>Ungesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>113</td>
</tr>
<tr>
<td>92</td>
<td>12.4.1</td>
<td>Messanordnungen</td>
<td>113</td>
</tr>
<tr>
<td>94</td>
<td>12.4.2</td>
<td>Messung mit direkter Ablesung</td>
<td>114</td>
</tr>
<tr>
<td>94</td>
<td>12.4.3</td>
<td>Berechnung aus zeitlicher Veränderung der Wasserspannung</td>
<td>116</td>
</tr>
<tr>
<td>95</td>
<td>12.4.4</td>
<td>Berechnung der Ergebnisse</td>
<td>118</td>
</tr>
<tr>
<td>95</td>
<td>12.5</td>
<td>Ergebnisse und Fehler</td>
<td>120</td>
</tr>
</tbody>
</table>
### Inhaltsverzeichnis

<table>
<thead>
<tr>
<th>Kapitel</th>
<th>Themenfeld</th>
<th>Seitenzahl</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>12.5.1</td>
<td>Gesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>120</td>
</tr>
<tr>
<td>12.5.2</td>
<td>Ungesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>122</td>
</tr>
<tr>
<td>12.6</td>
<td>Rechenbeispiele</td>
<td>123</td>
</tr>
<tr>
<td>12.6.1</td>
<td>Gesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>123</td>
</tr>
<tr>
<td>12.6.2</td>
<td>Ungesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>124</td>
</tr>
<tr>
<td>12.7</td>
<td>Weitere Methoden</td>
<td>125</td>
</tr>
<tr>
<td>12.7.1</td>
<td>Gesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>125</td>
</tr>
<tr>
<td>12.7.2</td>
<td>Ungesättigte Wasserleitfähigkeit</td>
<td>125</td>
</tr>
<tr>
<td>12.7</td>
<td>Literatur</td>
<td>126</td>
</tr>
</tbody>
</table>

#### 13 Messung des Matrixpotentials (der Wasserspannung) im Boden

<table>
<thead>
<tr>
<th>Unterkapitel</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>13.1 Problemstellung</td>
<td>128</td>
</tr>
<tr>
<td>13.2 Tensiometer</td>
<td>128</td>
</tr>
<tr>
<td>13.3 Die Gipsblockelektrode</td>
<td>135</td>
</tr>
<tr>
<td>13.4 Häufig im Boden vorkommende Wasserspannungen</td>
<td>140</td>
</tr>
<tr>
<td>13.5 Rechenbeispiele</td>
<td>142</td>
</tr>
<tr>
<td>13.6 Weitere Methoden</td>
<td>143</td>
</tr>
<tr>
<td>13.7 Literatur</td>
<td>143</td>
</tr>
</tbody>
</table>

#### 14 Bestimmung des Eindringwiderstandes des Bodens mit der Schlagsonde

<table>
<thead>
<tr>
<th>Unterkapitel</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>14.1 Problemstellung</td>
<td>145</td>
</tr>
<tr>
<td>14.2 Prinzip der Methode</td>
<td>145</td>
</tr>
<tr>
<td>14.3 Geräte</td>
<td>146</td>
</tr>
<tr>
<td>14.4 Durchführung der Bestimmung</td>
<td>146</td>
</tr>
<tr>
<td>14.5 Auswertung der Ergebnisse</td>
<td>148</td>
</tr>
<tr>
<td>14.5.1 Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Tiefe im Boden</td>
<td>148</td>
</tr>
<tr>
<td>14.5.2 Linien gleichen Eindringwiderstandes</td>
<td>149</td>
</tr>
<tr>
<td>14.6 Ergebnisse und Fehler</td>
<td>149</td>
</tr>
<tr>
<td>14.6.1 Natur der Unterschiede</td>
<td>149</td>
</tr>
<tr>
<td>14.6.2 Häufige Ergebnisse</td>
<td>149</td>
</tr>
<tr>
<td>Chapter</td>
<td>Section</td>
</tr>
<tr>
<td>---------</td>
<td>---------</td>
</tr>
<tr>
<td>14.6.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>14.7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>14.8</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>14.8.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>14.8.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>14.9</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15.3.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15.3.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15.3.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>15.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.1.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.1.2.</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.1.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.2.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.2.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.2.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.2.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.2.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.2.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.3.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.3.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.3.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.3.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.4.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.3.4.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.4.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.4.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.4.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.4.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.4.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16.5</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
XII Inhaltsverzeichnis

Häufige Umrechnungen........................................................................................................ 171
Längen, Flächen, Volumina, Massen, Dichten...................................................... 171
Geschwindigkeit, Kraft................................................................................................. 171
Druck, Energie/Arbeit, Leistung, Ertrag................................................................. 172
Fluss, Temperatur........................................................................................................... 173

Stichwortverzeichnis......................................................................................................... 174

Einleitung


Wo auch immer... Pflanzendecke... richtet werden soll. Es ist, als ob der menschliche Organismus in der Natur eine Art von Flussstrecke hat, in dem er... Auswirkungen hat. Endlich der Boden, er ist... Buchstaven für Buchstaben... Untersuchungen.

In dem vorliegenden Beitrag wird... Studium der Boden... Die beiden ersten... Die ersten Kapitel besprechen... Das erste Kapitel präsentieren... Das zweite Kapitel behandelt... Da man den Erdboden... Die Auswahl... Das erste Kapitel berichtet... Die Arbeitsweise... Oft ist es notwendig...