

Geotechnik

Teil 2: Grundbau

Prof. Dr.-Ing. Gerd Möller

Werner Verlag

Inhaltsverzeichnis

1	Frost im Baugrund	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Regelwerke	1
1.3	Homogener und nichthomogener Bodenfrost	1
1.4	Frostkriterien	2
1.4.1	Frostempfindliche Böden nach <i>Casagrande</i>	3
1.4.2	Frostkriterien nach <i>Schaible</i>	3
1.4.3	Klassifikation der Frostempfindlichkeit nach DIN 18 196	4
1.4.4	Klassifikation der Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 94	4
1.5	Frosttiefen und frostfreie Gründungen	6
1.6	Frostschäden und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung	7
1.6.1	Im Straßenbau und bei Flugplatzbefestigungen	7
1.6.2	Im Hochbau	9
1.6.3	Bei Baugruben und Böschungen	11
2	Baugrundverbesserung	12
2.1	Allgemeines	12
2.2	Regelwerke	13
2.3	Verdichtung nichtbindiger Böden	13
2.3.1	Oberflächenverdichtung	13
2.3.2	Tiefenverdichtung mittels Rütteldruckverfahren	15
2.4	Verdichtung bindiger Böden	16
2.4.1	Oberflächenverdichtung	16
2.4.2	Verdichtung durch Vorbelastung	17
2.5	Verdichtung von Böden durch Grundwasserabsenkung	19
2.6	Bodenaustauschverfahren	19
2.6.1	Polstergründung (Bodenteilersatz)	20
2.6.2	Moorsprengung (Bodenvollersatz)	21
2.6.3	Tiefenverdichtung mittels Rüttelstopfverdichtung	23
2.7	Dynamische Intensivverdichtung	25
2.8	Injektionsverfahren	26
2.8.1	DIN-Normen	28
2.8.2	Begriffe	28

2.8.3	Erforderliche Baugrunduntersuchungen	30
2.8.4	Einpreßtechnik	30
2.8.5	Injektionsgeräte	32
2.8.6	Verpreßvorgang	33
2.8.7	Zementinjektionen	33
2.8.8	Silikatgelinjektionen	34
2.8.9	Kunstharzinjektionen	34
2.8.10	Anwendungsbeispiele für Injektionen	36
2.8.11	Prüfung und Überwachung nach DIN 4093	37
2.8.12	Standicherheit von Einpreßkörpern im Lockergestein nach DIN 4093	38
2.9	Düsenstrahlverfahren	39
2.9.1	Allgemeines	39
2.9.2	Herstellungsweise und Eigenschaften der vermörtelten Elemente	39
2.9.3	Anwendungsmöglichkeiten	41
3	Flachgründungen	43
3.1	Allgemeines	43
3.2	DIN-Normen	43
3.3	Begriffe und Grundlagen	44
3.3.1	Untersuchungen des Baugrunds	45
3.3.2	Konstruktionen bei großen zu erwartenden Setzungsunterschieden	45
3.3.3	Dehnfugen	46
3.4	Entwurfsgrundlagen	48
3.5	Auswahlkriterien	49
3.6	Konstruktive Forderungen	50
3.7	Einzelfundamente	50
3.7.1	Unbewehrte Betonfundamente	51
3.7.2	Stahlbetonfundamente	53
3.7.3	Gestaltung	54
3.7.4	Standicherheit	56
3.7.5	Sohldruckverteilung	57
3.7.6	Nachweis gegen Durchstanzen bei Stahlbetonfundamenten	57
3.7.7	Biegebemessung von Stahlbetonfundamenten	60
3.7.8	Köcherfundamente	62
3.7.9	Verankerung von Stahlstützen	63
3.8	Streifenfundamente	64
3.8.1	Unbewehrte Betonfundamente	64
3.8.2	Stahlbetonfundamente	65
3.8.3	Einseitige Fundamente	66
3.8.4	Bemessungsmomente von Stahlbetonfundamenten	66

3.8.5	Nachweis gegen Durchstanzen bei Stahlbetonfundamenten	68
3.8.6	Stahlbetonträgerroste	68
3.9	Gründungsbalken	69
3.10	Gründungsplatten	70
3.10.1	Allgemeines	70
3.10.2	Platten gleicher Dicke	72
3.10.3	Örtlich verstärkte Platten	72
3.10.4	Berechnungsverfahren für Gründungsbalken und -platten	72
3.10.5	Spannungstrapezverfahren (vorgegebene Sohldruckverteilung)	73
3.10.6	Verteilung nach <i>Boussinesq</i> (vorgegebene Sohldruckverteilung)	74
3.10.7	Belastungsgleiche Verteilung (vorgegebene Sohldruckverteilung)	74
3.10.8	Bettungsmodulverfahren (verformungsabhängige Sohldruckverteilung)	75
3.10.9	Steifemodulverfahren (verformungsabhängige Sohldruckverteilung)	78
4	Pfähle	84
4.1	Allgemeines	84
4.2	Regelwerke	84
4.3	Einteilungen der Pfähle	85
4.3.1	Nach der Art der vorwiegenden Lastabtragung	85
4.3.2	Nach der Lage der tragfähigen Schicht bei Druckpfählen	86
4.3.3	Nach der Lage der Pfähle im Boden	86
4.3.4	Nach dem Baustoff, aus dem sie hergestellt sind	86
4.3.5	Nach ihrer Herstellung und der Art ihres Einbaus	88
4.3.6	Nach der Art ihrer Beanspruchung	88
4.4	Rammpfähle	89
4.4.1	Begriffe nach DIN 4026	89
4.4.2	Holzpfähle	90
4.4.3	Allgemeines zu Fertigteilpfählen aus Stahl- und Spannbeton	91
4.4.4	Stahlbetonpfähle	92
4.4.5	Spannbetonpfähle	92
4.4.6	Stahlpfähle	93
4.4.7	Ortbetonrammpfähle	94
4.4.8	Anordnung der Rammpfähle gemäß DIN 4026	96
4.5	Preßpfähle	96
4.6	Bohrpfähle	98
4.6.1	Definitionen und Anwendungsbereiche	98
4.6.2	Verrohrtes und unverrohrtes Bohren	99
4.6.3	Aufnahme großer konzentrierter Lasten	99
4.6.4	Schneckenbohrpfähle	100
4.6.5	Bohrverdrängungspfähle	101

4.7	Verpreßpfähle mit kleinen Durchmessern nach DIN 4128	103
4.7.1	Definitionen und Anwendungsbereiche	103
4.7.2	Systeme	104
4.8	Pfahlkopfanschlüsse	105
4.9	Tragverhalten von Pfählen	107
4.9.1	Inneres Tragverhalten	107
4.9.2	Äußeres Tragverhalten	107
4.10	Äußeres Tragverhalten von Bohrpfählen gemäß DIN 4014	108
4.10.1	Äußeres Tragverhalten von Druckpfählen	109
4.10.2	Spitzenwiderstandsberechnung für einzelnen Druckpfahl	110
4.10.3	Mantelreibungsberechnung für einzelnen Druckpfahl	112
4.10.4	Widerstandsetzungslinienermittlung für einzelnen Druckpfahl	113
4.10.5	Abminderungsfaktoren für nicht kreisförmige Druckpfähle	114
4.10.6	Äußeres Tragverhalten von Zugpfählen	115
4.10.7	Zulässige axiale Belastung von Einzelpfählen nach DIN 1054	115
4.10.8	Beispiel aus DIN 4014 zur Ermittlung der Widerstandsetzungslinie	116
4.11	Horizontalbelastungen von Pfählen	119
4.11.1	Aktive Horizontalbelastung	119
4.11.2	Passive Horizontalbelastung	119
4.11.3	Berechnungsmethoden für Einzelpfähle mit aktiver Horizontallast	120
4.11.4	Bettungsmodulverfahren bei Einzelpfählen mit aktiver Horizontallast	121
4.12	Äußeres Tragverhalten axial belasteter Vertikalpfahlgruppen	122
4.12.1	Wechselwirkung zwischen Einzelpfählen in Pfahlgruppen	122
4.12.2	Bestimmungen der DIN 1054	123
4.13	Äußeres Tragverhalten horizontal belasteter Vertikalpfahlgruppen	124
4.13.1	Anwendungsbeispiel	126
4.14	Probebelastung von Pfählen	127
4.14.1	Allgemeines	127
4.14.2	Anzahl der Probepfähle	128
4.14.3	Zeitpunkt der Probebelastung	128
4.14.4	Belastungseinrichtungen für axiale Probebelastungen	128
4.14.5	Belastungseinrichtungen für horizontale Probebelastungen	130
4.14.6	Instrumentierung und Meßverfahren	131
4.14.7	Verlauf der Probebelastung	131
4.15	Dynamische Integritätsprüfung bei Pfählen	131
5	Pfahlroste	135
5.1	Allgemeines	135

5.2	Einteilungen von Pfahlrosten	135
5.2.1	Tiefe und hohe Pfahlroste	135
5.2.2	Statisch bestimmte Pfahlroste	136
5.2.3	Kinematisch unbestimmte Pfahlroste	136
5.2.4	Statisch unbestimmte Pfahlroste	137
5.3	Kriterien zur Wahl und Anordnung der Pfahlrostpfähle	137
5.4	Pfahlkraftermittlung statisch bestimmter ebener Pfahlroste	139
5.5	Berechnung statisch unbestimmter Pfahlroste	140
5.5.1	Allgemeines	140
5.5.2	Geometrie der axial belasteten Pfähle	141
5.5.3	Äußere Belastung des Systems	142
5.5.4	Steifigkeiten der axial belasteten Einzelpfähle	142
5.5.5	Steifigkeitsmatrix des Pfahlrostes	143
5.5.6	Gleichungssystem des Pfahlrostes	143
5.5.7	Berechnung der Pfahlkopfbewegungen und der Pfahlkräfte	144
5.5.8	Pfahlroste mit senkrechten axial belasteten Pfählen	144
5.5.9	Symmetrische Pfahlroste mit senkrechten axial belasteten Pfählen	146
5.5.10	Ebene Pfahlroste mit axial belasteten Pfählen	147
5.5.11	Ebene symmetrische Pfahlroste mit axial belasteten Pfählen	148
5.5.12	Ebene Pfahlroste mit senkrechten axial belasteten Pfählen	149
5.5.13	Ebene Pfahlroste mit zwei unter α_1 und α_2 geneigten Pfahlgruppen	150
5.6	Geländebruch bei Stützkonstruktionen mit Pfahlrosten	153
5.7	Ausführungsbeispiele für Pfahlroste	154
6	Verankerungen	157
6.1	Allgemeines	157
6.2	Regelwerke	158
6.3	Abtragung von Verankerungskräften	158
6.3.1	Abtragung über Ankerelemente	159
6.3.2	Abtragung über Bohrlochwand	159
6.4	Begriffe für Verpreßanker aus DIN 4125	160
6.4.1	Ankerarten	160
6.4.2	Längen	161
6.5	Korrosionsschutz für Verpreßanker gemäß DIN 4125	162
6.5.1	Verankerungslängen von Kurzzeitankern	163
6.5.2	Freie Stahllängen von Kurzzeitankern	163
6.5.3	Übergang freie Stahllänge zu Verankerungslänge bei Kurzzeitankern	164
6.5.4	Ankerkopfbereich von Kurzzeitankern	164
6.5.5	Daueranker	164

6.6	Herstellung von Verpreßankern	167
6.6.1	Bohrlöcher	167
6.6.2	Einbau, Verpressung und Nachverpressung	168
6.7	Bemessung und Nachweise für Verpreßanker nach DIN 4125	171
6.7.1	Ankerkräfte	171
6.7.2	Lasten und Lastfälle	172
6.7.3	Zulässige Ankerkraft	172
6.8	Prüfungen von Verpreßankern gemäß DIN 4125	173
6.8.1	Grundsatzprüfung	173
6.8.2	Eignungsprüfung	173
6.8.3	Abnahmeprüfung	174
6.8.4	Nachprüfung	175
6.9	Grenzlasten von Verpreßkörpern	175
6.9.1	In nichtbindigen Böden	176
6.9.2	In bindigen Böden	176
6.10	Grenzkraft F_K und Kriechmaß k_s	177
6.11	Voraussetzungen für die Verwendung von Verpreßankern	179
6.12	Wahl geeigneter Ankersysteme	179
6.13	Entwurfsregeln für Verpreßankerlänge und -anordnung	180
6.14	Standicherheit des Gesamtsystems	182
6.14.1	Verankerung äußerer Lasten	182
6.14.2	Verankerte Baugrubenwände (tiefe Gleitfuge)	183
7	Wasserhaltung	186
7.1	Allgemeines	186
7.2	Grundwasserströmung	186
7.2.1	Voraussetzungen und Begriffe	186
7.2.2	Laplacesche Strömungsgleichung	188
7.2.3	Strömungsnetze	189
7.2.4	Grundwasserströmung und Bodenwichte	191
7.3	Hydraulischer Grundbruch	192
7.3.1	Sicherheitsnachweis nach <i>Baumgart-Davidenkoff</i>	193
7.3.2	Näherungsformel von <i>Kastner</i>	194
7.3.3	Sicherheitsnachweis nach <i>Terzaghi-Peck</i>	194
7.3.4	Sicherheitsnachweis nach EAU	195
7.3.5	Senkrechte Durchströmung von horizontal geschichtetem Boden	196
7.3.6	Bodenschichtung	197
7.3.7	Sicherungsmaßnahmen	197

7.4	Erosionsgrundbruch	199
7.5	Verfahren der Wasserhaltung	200
7.6	Schwerkraftentwässerung	201
7.6.1	Allgemeines	201
7.6.2	Offene Wasserhaltung	201
7.6.3	Horizontalabsenkung	202
7.6.4	Brunnenabsenkung	203
7.6.5	Flachbrunnenanlagen	204
7.6.6	Wellpointanlagen	206
7.6.7	Tiefbrunnenanlagen	206
7.7	Unterdruckentwässerung	207
7.7.1	Allgemeines	207
7.7.2	Spülfilteranlagen	208
7.7.3	Tiefbrunnenanlagen	209
7.8	Gesetz von <i>Darcy</i>, Gültigkeitsgrenzen	210
7.9	Arten von Grundwasserleitern	211
7.9.1	Grundwasserleiter mit freier Grundwasseroberfläche	211
7.9.2	Grundwasserleiter mit gespanntem Grundwasser	211
7.10	Berechnungsformeln	212
7.10.1	Zufluß zu einem Schlitz, Formel von <i>Dupuit</i>	212
7.10.2	Offene Wasserhaltung und Horizontalabsenkung	213
7.10.3	<i>Dupuit-Thiem</i> sche Brunnenformel, Voraussetzungen	214
7.10.4	<i>Dupuit-Thiem</i> sche Brunnenformel bei freier Grundwasseroberfläche	215
7.10.5	<i>Dupuit-Thiem</i> sche Brunnenformel bei gespanntem Grundwasser	216
7.10.6	Fassungsvermögen von Einzelbrunnen	217
7.10.7	Reichweite <i>R</i> der Absenkung bei vollkommenen Einzelbrunnen	219
7.10.8	Mehrbrunnenformel von <i>Forchheimer</i>	219
7.10.9	Von Brunnen umschlossene Baugrube	220
7.10.10	Benetzte Filterflächenhöhe <i>h'</i> eines Anlagebrunnens	221
7.10.11	Unvollkommene Brunnen	223
7.10.12	Einfluß der Eintauchtiefe von Baugrubenwänden	224
7.10.13	Durchlässigkeitsbeiwert, Probewasserabsenkung	225
8	Stützmauern	227
8.1	Allgemeines	227
8.2	Regelwerke	227
8.3	Begriffe	228
8.4	Bedingungen und Gesichtspunkte beim Entwurf	229
8.4.1	Allgemeine Bedingungen	229
8.4.2	Konstruktive Gesichtspunkte	229

8.5	Stützmauertypen	230
8.5.1	Futtermauern	230
8.5.2	Trockengewichtsmauern	231
8.5.3	Schwergewichtsmauern	231
8.5.4	Winkelstützmauern	232
8.6	Erddruck auf Schwergewichtsmauern	232
8.6.1	Dimensionierung von Schwergewichtsmauern	232
8.6.2	Wandneigungseinfluß auf horizontalen Erddruck	233
8.7	Erddruck auf Winkelstützmauern nach DIN 4085	234
8.7.1	Für die Standsicherheit des Gesamtsystems	234
8.7.2	Für die Bemessung der Winkelstützmauern	235
8.8	Standsicherheitsnachweise für Stützmauern	236
8.8.1	Gleitsicherheit	236
8.8.2	Kippsicherheit	237
8.8.3	Sicherheit gegen Geländebruch	237
8.8.4	Grundbruchsicherheit	238
8.9	Entwässerung	239
8.9.1	Belastungen von Stützmauern	239
8.9.2	Anordnung von Drainageeinrichtungen	240
8.9.3	Anforderungen an Dräneinrichtungen	241
8.9.4	Bedingungen für die Ausführung von Sickeranlagen	242
8.9.5	Ableitung von Oberflächenwasser	244
9	Spundwände	245
9.1	Allgemeines	245
9.2	Regelwerke	246
9.3	Einsatz von Stahlspundwänden	247
9.3.1	Einsatzvorteile	247
9.3.2	Vergleich mit anderen Stützkonstruktionen	247
9.3.3	Mögliche Querschnittsschwächungen	247
9.3.4	Zusätzliche Dichtungsmaßnahmen	249
9.4	Profile von Stahlspundwänden	251
9.5	Einbringung von Stahlspundbohlen	253
9.5.1	Rammen von Stahlspundbohlen	253
9.5.2	Einrütteln von Stahlspundbohlen	255
9.5.3	Einpressen von Stahlspundbohlen	256
9.5.4	Einstellen von Spundwänden in Schlitzwände	257
9.6	Berechnung von Spundwänden	258
9.6.1	Lastfälle bei Baugruben	259
9.6.2	Grundformen der Spundwandbewegung und Erddruckverteilung	259

9.6.3	Abhängigkeiten der Erddrucklastgröße gemäß EAB	261
9.6.4	Wandreibungswinkel bei aktivem Erddruck gemäß EAB	261
9.6.5	Wandreibungswinkel bei passivem Erddruck gemäß EAB	262
9.6.6	Größe der aktiven Erddrucklast gemäß EAB	263
9.6.7	Verteilung des aktiven Erddrucks nach EAB	263
9.6.8	Vereinfachte Lastfiguren gestützter Wände nach EAB	265
9.6.9	Baugruben im Wasser	266
9.6.10	Lastbilder für Spundwände im Wasser	267
9.6.11	Erfassung der Einspannung ungestützter Spundwände nach <i>Blum</i>	268
9.6.12	Einspannung ungestützter Spundwände nach EAB und EAU	270
9.6.13	Eingespannte ungestützte Spundwände nach <i>Blum</i>	271
9.6.14	Fußeinspannung gestützter Spundwände nach EAB und EAU	273
9.6.15	1-fach gestützte Spundwände mit Fußeinspannung nach <i>Blum</i>	274
9.6.16	Inneres Gleichgewicht der Vertikalkräfte	276
9.6.17	Äußeres Gleichgewicht der Vertikalkräfte	277
9.6.18	Rechenbeispiel für eingespannte ungestützte Spundwand nach <i>Blum</i>	278

10 Pfahlwände **281**

10.1 Allgemeines	281
10.2 Anwendungsbereiche	282
10.3 Regelwerke	282
10.4 Wandtypen	283
10.4.1 Aufgelöste Pfahlwände	284
10.4.2 Tangierende Pfahlwände	284
10.4.3 Überschnittene Pfahlwände	285
10.5 Herstellung	286
10.5.1 Bohrschablonen	286
10.5.2 Wände	286
10.6 Tragverhalten	287
10.7 Bemessung	288
10.7.1 Bemessung der Spitzbeton-Ausfachungen	288
10.7.2 Bemessung von Verankerungen	288

11 Schlitzwände **289**

11.1 Allgemeines	289
11.2 Anwendungsbereiche	290
11.3 Regelwerke	291
11.4 Begriffe	291

11.5 Aushubwerkzeuge	292
11.5.1 Schlitzwandgreifer	293
11.5.2 Schlitzwandfräsen	293
11.6 Herstellungsverfahren	295
11.6.1 Zweiphasenverfahren	295
11.6.2 Einphasenverfahren	295
11.6.3 Kombinationsverfahren	295
11.7 Herstellung von Schlitzwänden	296
11.7.1 Leitwände	298
11.7.2 Schlitzaushub	299
11.7.3 Betonieren	301
11.8 Fließgrenze und thixotrope Verfestigung von Tonsuspensionen	302
11.9 Übertragung des Stützflüssigkeitsdrucks	303
11.9.1 Entstehung von vollkommenen Filterkuchen	303
11.9.2 Reine Eindringung (fehlender Filterkuchen)	304
11.9.3 Unvollkommene Filterkuchenbildung und verminderte Eindringung	305
11.9.4 Geschlossene Systeme	306
11.9.5 Druckgefälle	306
11.10 Standsicherheit des gestützten Schlitzes	307
11.10.1 Zutritt von Grundwasser in den Schlitz	308
11.10.2 Innere Standsicherheit	309
11.10.3 Unterschreiten des statisch erforderlichen Flüssigkeitsspiegels	310
11.10.4 Äußere Standsicherheit (Allgemeines)	311
11.10.5 Äußere Standsicherheit (wirksame Stützkraft nach DIN 4126)	314
11.10.6 Äußere Standsicherheit (Erddruckkraft nach DIN 4126)	316
11.11 Standsicherheit der erhärteten Wand	319
12 Aufgelöste Stützwände	321
12.1 Allgemeines	321
12.2 Zulässige Böschungswinkel β nach DIN-Normen	322
12.2.1 Nach DIN 4084 und DIN V 4084-100	322
12.2.2 Nach DIN 4124	324
12.3 Grundlagen	326
12.4 Raumgitterwände	326
12.4.1 Allgemeines	326
12.4.2 Regelwerke	327
12.4.3 Begriffe	327
12.4.4 Einsatzvorteile und Anwendungsbereiche	328
12.4.5 Planung und Gestaltung	329
12.4.6 Gründung	330

12.4.7	Verfüll- und Hinterfüllboden	331
12.4.8	Verformungen der Wand	332
12.4.9	Lastannahmen für das Gesamtbauwerk	332
12.4.10	Lastannahmen für die Raumbinderzellen	333
12.4.11	Standicherheit des Gesamtbauwerks	334
12.4.12	Innere Standicherheit	335
12.5	Bewehrte Erde	337
12.5.1	Allgemeines	337
12.5.2	Konstruktionsprinzip	339
12.5.3	Anforderungen an den Füllboden	340
12.5.4	Anforderungen an den Hinterfüll- und Überschüttboden	341
12.5.5	Anforderungen an die Bewehrungsbänder	342
12.5.6	Anforderungen an die Außenhaut	342
12.5.7	Äußere Stabilität	343
12.5.8	Innere Stabilität (Bemessung der Bewehrungsbänder incl. Anschluß)	344
12.5.9	Innere Stabilität (Nachweise der Haltekraft der Bewehrungsbänder)	346
12.5.10	Innere Stabilität (Bemessung der Außenhaut)	347
12.6	Bodenvernagelung	347
12.6.1	Allgemeines	347
12.6.2	Regelwerke	349
12.6.3	Konstruktionsprinzip und Herstellung	350
12.6.4	Vorteile und Grenzen der Anwendung	352
12.6.5	Trag- und Verformungsverhalten	354
12.6.6	Nachweis der äußeren Stabilität	354
12.6.7	Nachweis der inneren Stabilität, Regelprofil	355
12.6.8	Nachweis der inneren Stabilität mit zwei starren Bruchkörpern	356
12.6.9	Bemessung der Spritzbetonschale	358
12.6.10	Nachweis der inneren Nagelsicherheit	358
13	Europäische Normung in der Geotechnik	360
13.1	Allgemeines	360
13.2	Deutsche und europäische Normung	360
13.3	Eurocode 7	362
13.3.1	Nationales Anwendungsdokument (NAD)	363
13.3.2	Deutsche Vornormen	363
13.4	Bauaufsichtliche Einführung	363
Literaturverzeichnis		365
Firmenverzeichnis		381
Stichwortverzeichnis		383