

Geotechnik

Grundbau

Gerd Möller

Bauingenieur-Praxis



Gerd Möller

Geotechnik

Grundbau

Gerd Möller

Prof. Dr.-Ing. Gerd Möller
Fregestraße 37
12161 Berlin

Titelbilder:

Dynamische Intensivverdichtung DYNIV® mit 200t Fallgewicht
für den Flughafen Nizza, Ménard DYNIV GmbH
Freigelegte Pfahlköpfe der Tiefgründung für den Neubau des
Kohlekraftwerks in Wilhelmshaven, Franki Grundbau GmbH & Co. KG
Innerstädtische Baugrube für den Neubau des Kaufhauses „Breuninger“ mit
Tiefgarage in der Karolinenstraße in Nürnberg, PST Spezialtiefbau Süd GmbH
Herstellung von Kaimauern als Dichtwände mit eingestellten kombinierten
Spundwänden für den Containerhafen Hamburg Altenwerder,
Brückner Grundbau GmbH

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2012 Wilhelm Ernst & Sohn,
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,
Rotherstr. 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten.
Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in
irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren –
reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungs-
maschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of
this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other
means – nor transmitted or translated into a machine language without written
permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen
Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von
jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um
eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen
handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Umschlaggestaltung: stilvoll® | Werbe- und Projektagentur, Waldulm
Herstellung: pagina GmbH, Tübingen
Druck und Bindung: betz-Druck GmbH, Darmstadt

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

2. vollständig überarbeitete Auflage
Print ISBN: 978-3-433-02976-3
ePDF ISBN: 978-3-433-60199-0
ePub ISBN: 978-3-433-60200-3
mobi ISBN: 978-3-433_60201-0
oBook ISBN: 978-3-433-60194-5

Für Susanne

Vorwort

Mit der bauaufsichtlichen Einführung von DIN 1054:2005-01 ist das Konzept der Teilsicherheiten auch bezüglich der Geotechnik in die Bauordnungen der Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland aufgenommen worden. Verbunden mit einer ca. 2-jährigen Übergangszeit wurde das Konzept der globalen Sicherheiten abgelöst. Dieser Vorgang erfolgte zwar mit Blick auf die europäische Normung, bei den in die Liste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen Normen handelte es sich aber, mit Ausnahme von DIN EN 1535 (Ausführung von Bohrpfählen), durchweg um rein nationale Normen.

In diesem Jahr (2012) werden in der Bauordnung die rein nationalen Normen durch europäische Normen ersetzt (im Bereich der Geotechnik ist dies vor allem der Eurocode 7). Nationale Normen dienen in Zukunft der Ergänzung der europäischen Normen. Für diesen Schritt wird es keine Übergangszeit geben.

Für die in der Praxis tätigen Ingenieurinnen und Ingenieure ist dies verbunden mit dem Kennenlernen vieler neuer Normen. Da nun zur gleichen Thematik oftmals gleichzeitig mehrere Normen zu berücksichtigen sind und dieses als wenig anwenderfreundlich zu bewerten ist, wurden auf dem Gebiet der Geotechnik zwei Normen-Handbücher veröffentlicht, mit denen das Arbeiten mit den Normen erleichtert werden soll. Beide Bände beinhalten jeweils drei Normen, bei denen es sich um den Eurocode 7, den zugehörigen Nationalen Anhang und eine ergänzende nationale Norm handelt. Im Band 1 (Allgemeine Regeln) sind das DIN EN 1997-1, DIN EN 1997-1/NA und DIN 1054. Insgesamt ist festzustellen, dass der Seitenumfang der im jeweiligen Anwendungsfall zu berücksichtigenden Normen enorm zugenommen hat.

Mit dem vorliegenden Buch wird eine Unterlage zur Verfügung gestellt, die den Umgang mit dem neuen Regelwerk erleichtern soll. Neben einer Vielzahl von Formeln, Tabellen, Grafiken, Bildern und Verweisen auf zu beachtende Textstellen in Normen findet sich zusätzlich eine Reihe von Anwendungsbeispielen, da auch im Berufsleben stehende Ingenieure Neues gern anhand von Fallbeispielen erlernen.

Trotz des nicht unerheblichen Umfangs des Buches waren, auch aus Kostengründen, Einschränkungen bezüglich der Auswahl und der Behandlung der einzelnen Themengebiete erforderlich. Wegen des damit verbundenen teilweisen Verzichts auf Vollständigkeit bzw. Ausführlichkeit wird an vielen Stellen auf weitergehende Literatur verwiesen.

Anregungen und kritische Stellungnahmen meiner Leser erhoffe ich, denn erst durch das Infragestellen und neue Überdenken eröffnen sich Wege zur Verbesserung des Erreichten.

Berlin im Februar 2012

Gerd Möller

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VII
1 Zum Normenhandbuch Eurocode 7	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Einwirkungen, geotechnische Kenngrößen, Widerstände	2
1.2.1 Einwirkungen	3
1.2.2 Geotechnische Kenngrößen	4
1.2.3 Widerstände	4
1.3 Charakteristische und repräsentative Werte	4
1.3.1 Charakteristische Werte	4
1.3.2 Repräsentative Werte	5
1.4 Grenzzustände	6
1.5 Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte	7
1.5.1 Bemessungssituationen	7
1.5.2 Teilsicherheitsbeiwerte	9
1.6 Bemessungswerte	12
1.6.1 Bemessungswerte von Einwirkungen	12
1.6.2 Bemessungswerte von geotechnischen Kenngrößen	13
1.6.3 Bemessungswerte von Bauwerkseigenschaften	13
1.7 Rechnerische Nachweisführung der Tragsicherheit	13
1.7.1 Verlust der Lagesicherheit (EQU)	14
1.7.2 Versagen im Tragwerk und im Baugrund (STR und GEO)	14
1.7.3 Versagen durch Aufschwimmen (UPL)	16
1.7.4 Versagen durch hydraulischen Grundbruch (HYD)	16
1.8 Beobachtungsmethode	17
2 Frost im Baugrund	19
2.1 Allgemeines und Regelwerke	19
2.1.1 Allgemeines	19
2.1.2 Regelwerke	19
2.2 Homogener und nicht homogener Bodenfrost	19
2.3 Frostkriterien	20
2.3.1 Frostempfindliche Böden nach <i>Casagrande</i>	20
2.3.2 Frostkriterien nach <i>Schaible</i>	20
2.3.3 Klassifikation der Frostempfindlichkeit nach DIN 18196	21
2.3.4 Klassifikation der Frostempfindlichkeit nach ZTV E-StB 09	22
2.4 Frosttiefen und frostfreie Gründungen	24
2.5 Frostschäden und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung	24
2.5.1 Straßenbau und Flugplatzbefestigungen	25
2.5.2 Hochbau	28
2.5.3 Bei Baugruben und Böschungen	29
3 Baugrundverbesserung	31
3.1 Allgemeines und Regelwerke	31
3.1.1 Allgemeines	31
3.1.2 Regelwerke	32
3.2 Verdichtung von Böden	32
3.2.1 Oberflächenverdichtung nichtbindiger Böden	33

3.2.2	Tiefenverdichtung nichtbindiger Böden mit dem Rütteldruckverfahren	35
3.2.3	Oberflächenverdichtung bindiger Böden	37
3.2.4	Verdichtung durch Vorbelastung	38
3.2.5	Vakuumkonsolidierung	40
3.2.6	Verdichtung durch Grundwasserabsenkung	41
3.2.7	Dynamische Intensivverdichtung	42
3.3	Bodenaustauschverfahren	44
3.3.1	Polstergründung (Bodenteilersatz)	46
3.3.2	Tiefenverdichtung mittels Rüttelstopfverdichtung	46
3.3.3	Geokunststoffummantelte Sandsäulen	48
3.4	Injektionsverfahren	50
3.4.1	DIN-Normen	52
3.4.2	Begriffe	52
3.4.3	Erforderliche Baugrunduntersuchungen	53
3.4.4	Einpresstechnik und Injektionsgeräte	54
3.4.5	Verpressvorgang	56
3.4.6	Zementinjektionen	57
3.4.7	Silikatgellingjektionen	59
3.4.8	Kunstharzinjektionen	59
3.4.9	Anwendungsbeispiele	59
3.4.10	Prüfung nach DIN 4093 und Überwachung	61
3.4.11	Standsicherheit von Einpresskörpern im Lockergestein nach DIN 4093	62
3.5	Düsenstrahlverfahren	62
3.5.1	Allgemeines	62
3.5.2	Begriffe nach DIN EN 12716	63
3.5.3	Herstellungweise und Eigenschaften von Düsenstrahlelementen	64
3.5.4	Anwendungsmöglichkeiten	66
4	Flachgründungen	68
4.1	Allgemeines und Normen	68
4.1.1	Allgemeines	68
4.1.2	DIN-Normen	68
4.2	Begriffe und Grundlagen	69
4.2.1	Begriffe	69
4.2.2	Untersuchungen des Baugrunds	69
4.2.3	Konstruktionen bei großen zu erwartenden Setzungsunterschieden	70
4.2.4	Dehnfugen	71
4.3	Entwurf, Auswahl und konstruktive Forderungen	73
4.3.1	Entwurfgrundlagen	73
4.3.2	Auswahlkriterien	74
4.3.3	Konstruktive Forderungen	74
4.4	Einwirkungen und Widerstände	75
4.4.1	Einwirkungen	75
4.4.2	Widerstände des Baugrunds	76
4.5	Äußere Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	77
4.6	Einzelfundamente	81
4.6.1	Unbewehrte Betonfundamente	82
4.6.2	Stahlbetonfundamente	84
4.6.3	Gestaltung	86
4.6.4	Sohldruckverteilung	88
4.6.5	Biegebemessung von Stahlbetonfundamenten	89
4.6.6	Nachweis gegen Durchstanzen bei Stahlbetonfundamenten	91
4.6.7	Gebrauchstauglichkeitsnachweise nach DIN EN 1992-1-1	95

4.6.8	Vorgefertigte Einzelfundamente	96
4.6.9	Vorgefertigte Köcherfundamente	97
4.6.10	Verankerung von Stahlstützen	98
4.7	Streifenfundamente	99
4.7.1	Unbewehrte Betonfundamente	100
4.7.2	Stahlbetonfundamente	102
4.7.3	Einseitige Fundamente	104
4.7.4	Bemessungsmomente für Stahlbetonfundamente	105
4.7.5	Nachweis der Tragfähigkeit für Querkraft	106
4.7.6	Stahlbetonträgerroste	107
4.8	Gründungsbalken	108
4.9	Gründungsplatten	112
4.9.1	Allgemeines	112
4.9.2	Platten konstanter Dicke und örtlich verstärkte Platten	113
4.9.3	Berechnungsverfahren für Gründungsbalken und -platten	113
4.9.4	Spannungstrapezverfahren, vorgegebene Sohldruckverteilung	115
4.9.5	Verteilung nach <i>Boussinesq</i> , vorgegebene Sohldruckverteilung	116
4.9.6	Belastungsgleiche Verteilung, vorgegebene Sohldruckverteilung	117
4.9.7	Bettungsmodulverfahren, verformungsabhängige Sohldruckverteilung	117
4.9.8	Stifemodulverfahren, verformungsabhängige Sohldruckverteilung	120
5	Pfähle	127
5.1	Allgemeines und Regelwerke	127
5.1.1	Allgemeines	127
5.1.2	Regelwerke	128
5.2	Einteilungen der Pfähle	128
5.2.1	Nach der Art ihrer vorwiegenden Lastabtragung	128
5.2.2	Nach der Lage der tragfähigen Schicht bei Druckpfählen	129
5.2.3	Nach ihrem Baustoff	129
5.2.4	Nach ihrer Lage im Boden	131
5.2.5	Nach ihrer Herstellung und der Art ihres Einbaus	131
5.2.6	Nach der Art ihrer Beanspruchung	131
5.3	Verdrängungspfähle	132
5.3.1	Begriffe, Einteilung und Herstellgenauigkeit nach DIN EN 12699	132
5.3.2	Reihenfolge des Einbringens, Pfahlabstände und -neigungen	133
5.3.3	Holzpfähle	134
5.3.4	Allgemeines zu Betonfertigpfählen	136
5.3.5	Vorgefertigte Stahlbetonpfähle	138
5.3.6	Spannbetonpfähle	140
5.3.7	Stahlpfähle	141
5.3.8	Ortbetonpfähle	143
5.3.9	Schraubpfähle	146
5.3.10	Presspfähle	148
5.4	Bohrpfähle	150
5.4.1	Definitionen und Anwendungsbereiche	150
5.4.2	Verrohrtes und ungestütztes Bohren	151
5.4.3	Aufnahme großer konzentrierter Lasten	152
5.4.4	Schneckenbohrpfähle	153
5.5	Mikropfähle	154
5.5.1	Definitionen und Anwendungsbereiche	154
5.5.2	Systeme	156
5.6	Pfahlkopfanschlüsse	158
5.7	Tragverhalten von Pfählen	160

5.7.1	Inneres Tragverhalten	160
5.7.2	Äußeres Tragverhalten	160
5.8	Tragverhalten von Pfählen gemäß DIN EN 1997-1	162
5.8.1	Allgemeines	162
5.8.2	Einwirkungen und Beanspruchungen	162
5.8.3	Bemessungswerte der Einwirkungen und Beanspruchungen	164
5.8.4	Pfahlwiderstände, Allgemeines	164
5.8.5	Axiale Widerstände aus Ergebnissen statischer Pfahlprobelastungen	165
5.8.6	Axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten, Allgemeines	167
5.8.7	Axiale Widerstände aus Erfahrungswerten für Bohrpfähle	168
5.8.8	Axiale Widerstände aus Erfahrungswerten für Fertigrammpfähle	179
5.8.9	Axiale Widerstände aus Erfahrungswerten für Ortbetonrammpfähle	182
5.8.10	Axiale Widerstände aus Erfahrungswerten für verpresste Mikropfähle	185
5.8.11	Bemessungswerte der Pfahlwiderstände	186
5.8.12	Nachweis der Tragfähigkeit axial belasteter Einzelpfähle	186
5.8.13	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	188
5.9	Horizontalbelastungen von Pfählen.....	191
5.9.1	Aktive Horizontalbelastung	191
5.9.2	Passive Horizontalbelastung	191
5.9.3	Berechnungsmethoden für Einzelpfähle mit Horizontalbelastung	194
5.9.4	Bettungsmodulverfahren bei Einzelpfählen	194
5.10	Axial belastete Vertikalpfahlgruppen, äußeres Tragverhalten	195
5.10.1	Wechselwirkung zwischen Einzelpfählen in Pfahlgruppen	195
5.10.2	Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise nach DIN EN 1997-1	196
5.11	Horizontal belastete Vertikalpfahlgruppen, Einwirkungen und Widerstände	199
5.12	Probelastung von Pfählen	204
5.12.1	Allgemeines	204
5.12.2	Widerstands-Setzungs-Linien und Pfahlkopfbewegungen	204
5.12.3	Anzahl der Probepfähle	205
5.12.4	Zeitpunkt der Probelastung	205
5.12.5	Belastungseinrichtungen für axiale Probelastungen	206
5.12.6	Belastungseinrichtungen für horizontale Probelastungen	209
5.12.7	Instrumentierung und Messverfahren	210
5.12.8	Verlauf der Probelastung	211
5.13	Dynamische Integritätsprüfung bei Pfählen	212
6	Pfahlroste	216
6.1	Allgemeines.....	216
6.2	Einteilungen von Pfahlrosten	216
6.2.1	Tiefe und hohe Pfahlroste	216
6.2.2	Statisch bestimmte Pfahlroste	216
6.2.3	Statisch unbestimmte Pfahlroste	217
6.2.4	Kinematisch unbestimmte Pfahlroste	218
6.3	Kriterien zur Wahl und Anordnung der Pfahlrostpfähle.....	219
6.4	Pfahlkraftermittlung statisch bestimmter ebener Pfahlroste.....	220
6.5	Berechnung statisch unbestimmter Pfahlroste.....	224
6.5.1	Allgemeines	224
6.5.2	Geometrie der axial belasteten Pfähle	224
6.5.3	Einwirkungen auf das System	225
6.5.4	Steifigkeiten der axial belasteten Einzelpfähle	226
6.5.5	Steifigkeitsmatrix des Pfahlrostes	226
6.5.6	Gleichungssystem des Pfahlrostes	227
6.5.7	Berechnung der Pfahlkopfbewegungen und der Pfahlkräfte	227

6.5.8	Pfahlroste mit senkrechten axial belasteten Pfählen	233
6.5.9	Symmetrische Pfahlroste mit senkrechten axial belasteten Pfählen	235
6.5.10	Ebene Pfahlroste mit axial belasteten Pfählen	239
6.5.11	Ebene symmetrische Pfahlroste mit axial belasteten Pfählen	240
6.5.12	Ebene Pfahlroste mit senkrechten axial belasteten Pfählen	240
6.5.13	Ebene Pfahlroste mit zwei unter α_1 und α_2 geneigten Pfahlgruppen	242
6.6	Geländebruch bei Stützkonstruktionen mit Pfahlrosten	246
6.7	Ausführungsbeispiele für Pfahlroste	247
7	Verankerungen	250
7.1	Allgemeines und Regelwerke	250
7.1.1	Allgemeines	250
7.1.2	Regelwerke	251
7.2	Abtragung von Verankerungskräften	251
7.2.1	Abtragung über Anker Elemente	251
7.2.2	Abtragung über Bohrlochwand	252
7.3	Begriffe für Verpressanker	253
7.3.1	Ankerarten	253
7.3.2	Längen	257
7.3.3	Kräfte	257
7.4	Korrosionsschutz für Verpressanker	258
7.4.1	Kurzzeitanker, Verankerungslängen	258
7.4.2	Kurzzeitanker, freie Stahllängen	259
7.4.3	Kurzzeitanker, Übergang freie Stahllänge zur Verankerungslänge	260
7.4.4	Kurzzeitanker, Ankerkopfbereich	260
7.4.5	Daueranker; Allgemeines	261
7.4.6	Daueranker, Verankerungslängen und freie Stahllängen	261
7.4.7	Daueranker, Ankerkopfbereich	262
7.5	Herstellung von Verpressankern	263
7.5.1	Bohrlöcher	263
7.5.2	Einbau, Verpressung und Nachverpressung	264
7.6	Verpressankerbemessung und -nachweise	267
7.6.1	Allgemeines	267
7.6.2	Einwirkungen und Beanspruchungen	267
7.6.3	Widerstände	268
7.6.4	Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit	269
7.7	Prüfungen von Verpressankern gemäß DIN EN 1537	270
7.7.1	Untersuchungsprüfung	271
7.7.2	Eignungsprüfung	272
7.7.3	Abnahmeprüfung	272
7.7.4	Nachprüfung	273
7.8	Herauszieh-Widerstände und Kriechmaß	273
7.8.1	Herauszieh-Widerstände beim Bruch in nichtbindigen Böden	273
7.8.2	Herauszieh-Widerstände beim Bruch in bindigen Böden	275
7.8.3	Herauszieh-Widerstand $R_{a,k}$ und Kriechmaß k_s	276
7.9	Voraussetzungen für die Verwendung von Verpressankern	279
7.10	Wahl geeigneter Ankersysteme	280
7.11	Entwurfsregeln für Verpressankerlänge und -anordnung	280
7.12	Standicherheit des Gesamtsystems bei Ankergruppen	283
7.12.1	Verankerung äußerer Lasten	283
7.12.2	Verankerte Baugrubenwände (tiefe Gleitfuge)	285

8	Wasserhaltung	290
8.1	Allgemeines und Regelwerke	290
8.2	Grundwasserströmung	291
8.2.1	Voraussetzungen und Begriffe	291
8.2.2	Strömungsgleichung von <i>Laplace</i>	292
8.2.3	Strömungsnetze	293
8.2.4	Grundwasserströmung und Bodenwichte	297
8.3	Hydraulischer Grundbruch	299
8.3.1	Allgemeines	299
8.3.2	Sicherheitsnachweis nach <i>Baumgart/Davidenkoff</i>	300
8.3.3	Näherungsformel von <i>Kastner</i>	302
8.3.4	Sicherheitsnachweis nach <i>Terzaghi/Peck</i>	305
8.3.5	Sicherheitsnachweis nach DIN 1054	306
8.3.6	Sicherheitsnachweise nach EAU und EAB	307
8.3.7	Sicherheitsnachweise für Baugruben mit Bemessungsdiagrammen	308
8.3.8	Senkrechte Durchströmung von horizontal geschichtetem Boden	309
8.3.9	Berücksichtigung von Bodenschichtungen	310
8.3.10	Sicherungsmaßnahmen	311
8.4	Erosionsgrundbruch	312
8.5	Verfahren der Wasserhaltung	314
8.6	Schwerkraftentwässerung	315
8.6.1	Allgemeines	315
8.6.2	Offene Wasserhaltung	315
8.6.3	Horizontalabsenkung	316
8.6.4	Brunnenabsenkung	317
8.6.5	Flachbrunnenanlagen	318
8.6.6	Wellpointanlagen	320
8.6.7	Tiefbrunnenanlagen	321
8.7	Unterdruckentwässerung	322
8.7.1	Allgemeines	322
8.7.2	Spülfilteranlagen	323
8.7.3	Tiefbrunnenanlagen	324
8.8	Gesetz von <i>Darcy</i> , Gültigkeitsgrenzen	325
8.9	Arten von Grundwasserleitern	327
8.9.1	Grundwasserleiter mit freier Grundwasseroberfläche	327
8.9.2	Grundwasserleiter mit gespanntem Grundwasser	327
8.10	Berechnungsformeln	328
8.10.1	Zufluss zu einem Schlitz, Formel von <i>Dupuit</i>	328
8.10.2	Offene Wasserhaltung	329
8.10.3	Brunnenformel von <i>Dupuit-Thiem</i> , Voraussetzungen	331
8.10.4	Brunnenformel von <i>Dupuit-Thiem</i> bei freier Grundwasseroberfläche	331
8.10.5	Brunnenformel von <i>Dupuit-Thiem</i> bei gespanntem Grundwasser	333
8.10.6	Fassungsvermögen von Einzelbrunnen	335
8.10.7	Reichweite <i>R</i> der Absenkung bei vollkommenen Einzelbrunnen	338
8.10.8	Mehrbrunnenformel von <i>Forchheimer</i>	339
8.10.9	Von Brunnen umschlossene Baugrube	341
8.10.10	Benetzte Filterflächenhöhe <i>h'</i> eines Anlagebrunnens	342
8.10.11	Unvollkommene Brunnen	347
8.10.12	Einfluss der Eintauchtiefe von wasserdichten Baugrubenwänden	348
8.10.13	Durchlässigkeitsbeiwert, Probewasserabsenkung	349
9	Stützmauern (Gewichtsstützwände)	351
9.1	Allgemeines	351

9.2	Regelwerke und Begriffe	351
9.2.1	Regelwerke	351
9.2.2	Begriffe	352
9.3	Bedingungen und Gesichtspunkte beim Entwurf	352
9.3.1	Allgemeine Bedingungen	352
9.3.2	Konstruktive Gesichtspunkte	353
9.4	Stützmauertypen	354
9.4.1	Futtermauern	354
9.4.2	Trockengewichtsmauern	355
9.4.3	Schergewichtsmauern	355
9.4.4	Winkelstützmauern	356
9.5	Einwirkungen und Widerstände	356
9.5.1	Auf Schergewichtsmauern einwirkender Erddruck	357
9.5.2	Auf Winkelstützmauern einwirkender Erddruck	358
9.5.3	Wasserdruck auf Stützmauern	366
9.5.4	Widerstände	366
9.6	Nachweis der Tragfähigkeit.....	367
9.6.1	Gleitsicherheit	367
9.6.2	Grundbruchsicherheit	368
9.6.3	Kippsicherheit	370
9.6.4	Materialversagen bei Schergewichtsmauern	370
9.6.5	Nachweis für die Grenzzustände HYD und GEO-3	371
9.7	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit.....	372
9.7.1	Zulässige Lage der Sohldruckresultierenden	372
9.7.2	Unzuträgliche Verschiebungen und unzulässige Setzungen	375
9.8	Entwässerung.....	375
9.8.1	Belastungen von Stützmauern	375
9.8.2	Anordnung von Dränageeinrichtungen	376
9.8.3	Anforderungen an Dräneeinrichtungen	377
9.8.4	Bedingungen für die Ausführung von Sickeranlagen	378
9.8.5	Ableitung von Oberflächenwasser	380
10	Spundwände	381
10.1	Allgemeines und Regelwerke.....	381
10.1.1	Allgemeines	381
10.1.2	Regelwerke	382
10.2	Einsatz von Stahlspundwänden	383
10.2.1	Einsatzvorteile	383
10.2.2	Vergleich mit anderen Stützkonstruktionen	383
10.2.3	Mögliche Querschnittsschwächungen	384
10.2.4	Zusätzliche Dichtungsmaßnahmen	386
10.3	Profile von Stahlspundwänden.....	387
10.4	Einbringung von Stahlspundbohlen.....	390
10.4.1	Rammen	391
10.4.2	Einrütteln	392
10.4.3	Einpressen	394
10.4.4	Einstellen in Schlitzwände	395
10.5	Berechnung von Spundwänden	396
10.5.1	Vorbemerkungen	396
10.5.2	Einwirkungen bei Baugruben	397
10.5.3	Grundformen der Spundwandbewegung und Erddruckverteilung	399
10.5.4	Abhängigkeiten der Erddruckkraftgröße gemäß EAB	400
10.5.5	Neigungswinkel des Erddrucks gemäß EAB und EAU	401

10.5.6	Aktive Erddruckkraft bei unbelasteter Geländeoberfläche gemäß EAB	402
10.5.7	Aktive Erddruckverteilung bei unbelasteter Geländeoberfläche nach EAB	403
10.5.8	Aktive Erddruckkraft aus Nutzlasten gemäß EAB	404
10.5.9	Aktive Erddruckverteilung aus Nutzlasten nach EAB	406
10.5.10	Vereinfachte Lastfiguren gestützter Wände nach EAB	406
10.5.11	Passive Erddruckverteilung im Einbindebereich der Wand nach EAB	407
10.5.12	Vereinfachte Lastfiguren von Spundwänden nach EAB	408
10.5.13	Baugruben im Wasser	409
10.5.14	Lastbilder für Spundwände im Wasser	410
10.5.15	Stand sicherheitsnachweise nach DIN EN 1997-1, DIN 1054 und EAB	411
10.5.16	Erforderliche Einbindetiefe von Spundwänden	413
10.5.17	Erforderliche Einbindetiefe mit dem Lastansatz von <i>Blum</i>	415
10.5.18	Inneres Gleichgewicht der Vertikalkräfte	423
10.5.19	Äußeres Gleichgewicht der Vertikalkräfte (Versinken der Wand)	424
10.5.20	Gebrauchstauglichkeitsnachweis nach E DIN 1997-1, DIN 1054 und EAB	427
11	Pfahlwände	428
11.1	Allgemeines	428
11.2	Anwendungsbereiche	429
11.3	Regelwerke	430
11.4	Wandtypen	430
11.4.1	Aufgelöste Pfahlwände	431
11.4.2	Tangierende Pfahlwände	432
11.4.3	Überschnittene Pfahlwände	433
11.5	Herstellung	434
11.5.1	Bohrschablonen	434
11.5.2	Wände	435
11.6	Tragverhalten	437
11.7	Bemessung	438
11.7.1	Bemessung der Spritzbeton-Ausfachungen	438
11.7.2	Bemessung von Verankerungen	438
12	Schlitzwände	439
12.1	Allgemeines	439
12.2	Anwendungsbereiche	440
12.3	Regelwerke und Begriffe	441
12.3.1	Regelwerke	441
12.3.2	Begriffe	441
12.4	Aushubwerkzeuge	443
12.4.1	Schlitzwandgreifer	443
12.4.2	Schlitzwandfräsen	444
12.5	Herstellungsverfahren	445
12.5.1	Zweiphasenverfahren	446
12.5.2	Einphasenverfahren	446
12.5.3	Kombinationsverfahren	446
12.6	Herstellung von Schlitzwänden	447
12.6.1	Leitwände	450
12.6.2	Schlitzzaushub	451
12.6.3	Betonieren	453
12.7	Tonsuspensionen, Fließgrenze und thixotrope Verfestigung	454
12.8	Übertragung des Stützflüssigkeitsdrucks	455
12.8.1	Entstehung von vollkommenen Filterkuchen	455

12.8.2	Reine Eindringung (fehlender Filterkuchen)	456
12.8.3	Unvollkommene Filterkuchenbildung und verminderte Eindringung	457
12.8.4	Geschlossene Systeme	458
12.8.5	Druckgefälle	459
12.9	Standsicherheit des gestützten Schlitzes.....	460
12.9.1	Zutritt von Grundwasser in den Schlitz	460
12.9.2	Innere Standsicherheit	465
12.9.3	Überschreiten des statisch erforderlichen Stützflüssigkeitsspiegels	469
12.9.4	Äußere Standsicherheit, Allgemeines	470
12.9.5	Äußere Standsicherheit, Stützkraft	473
12.9.6	Äußere Standsicherheit, Erddruckkraft	477
12.9.7	Äußere Standsicherheit, Fälle ohne erforderlichen Nachweis	480
12.10	Standsicherheit der erhärteten Wand	482
13	Aufgelöste Stützwände	484
13.1	Allgemeines	484
13.2	Zulässige Böschungswinkel β nach DIN-Normen	485
13.2.1	DIN 4084, DIN 1054 und DIN EN 1997-1/NA	485
13.2.2	DIN 4124	488
13.3	Grundlagen.....	493
13.4	Raumgitterwände	494
13.4.1	Allgemeines	494
13.4.2	Regelwerke	494
13.4.3	Begriffe	494
13.4.4	Einsatzvorteile und Anwendungsbereiche	495
13.4.5	Planung und Gestaltung	496
13.4.6	Gründung	497
13.4.7	Verfüll- und Hinterfüllboden	498
13.4.8	Verformungen der Wand	498
13.4.9	Einwirkungen auf Gesamtbauwerk	499
13.4.10	Einwirkungen an den Raumgitterzellen	500
13.4.11	Nachweise zur äußeren Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit	501
13.4.12	Nachweise zur inneren Standsicherheit	502
13.5	Bewehrte Erde.....	505
13.5.1	Allgemeines	505
13.5.2	Regelwerke	506
13.5.3	Konstruktionsprinzip	506
13.5.4	Anforderungen an den Füllboden	508
13.5.5	Anforderungen an den Hinterfüll- und Überschüttboden	510
13.5.6	Anforderungen an die Bewehrungsbänder	510
13.5.7	Anforderungen an die Außenhaut	511
13.5.8	Nachweise zur äußeren Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit	511
13.5.9	Innere Standsicherheit, Nachweis der Bewehrungsbänder	514
13.5.10	Innere Standsicherheit, Nachweis der Anschlüsse an die Außenhaut	518
13.6	Bewehrung mit Geokunststoffen	519
13.6.1	Allgemeines	519
13.6.2	Regelwerke	520
13.6.3	Einteilung von Geokunststoffen	520
13.6.4	Einsatzgebiete von Geokunststoffen	521
13.6.5	Allgemeines und Begriffe zum Bewehren mit Geokunststoffen	522
13.6.6	Anforderungen an das Material bewehrter Konstruktionen	523
13.6.7	Konstruktive Gestaltung und Herstellung bewehrter Geländesprünge	525
13.6.8	Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bei Stützkonstruktionen	527

13.6.9	Tragfähigkeitsnachweise (um Stützkonstruktion verlaufende Gleitlinien)	528
13.6.10	Tragfähigkeitsnachweise (durch Stützkonstruktion verlaufende Gleitlinien)	529
13.6.11	Nachweis der Frontausbildung	532
13.7	Bodenvernagelung	533
13.7.1	Allgemeines	533
13.7.2	Regelwerke	536
13.7.3	Konstruktionsprinzip und Herstellung	537
13.7.4	Vorteile und Grenzen der Anwendung	540
13.7.5	Trag- und Verformungsverhalten	542
13.7.6	Nachweis der äußeren Standsicherheit	542
13.7.7	Nachweis der inneren Standsicherheit, Regelprofil	544
13.7.8	Nachweis der inneren Standsicherheit mit zwei starren Bruchkörpern	545
13.7.9	Bemessung der Spritzbetonschale	548
14	Europäische Normung in der Geotechnik	549
14.1	Allgemeines	549
14.2	Deutsche und europäische Normung	549
14.3	Eurocode 7	551
14.3.1	Nationaler Anhang (NA)	551
14.3.2	DIN EN 1997-1 ergänzende Deutsche Normen und Empfehlungen	552
14.4	Europäische geotechnische Ausführungsnormen	552
14.5	Weitere europäische geotechnische Normen	553
14.6	Bauaufsichtliche Einführung	553
14.6.1	Allgemeines	553
14.6.2	Übergang von deutscher auf europäische Normung	555
	Literaturverzeichnis	556
	Firmenverzeichnis	576
	Stichwortverzeichnis	579
	Inserentenverzeichnis	594

1 Zum Normenhandbuch Eurocode 7

1.1 Allgemeines

Die neuesten Fassungen von DIN EN 1997-1:2009-10 [107], DIN 1054:2010-12 [41] und DIN EN 1997-1/NA:2010-12 [108] wurden in dem Normen-Handbuch „Geotechnische Bemessung“ [242] zusammengeführt, um die Verwendung dieser Normen für den Nutzer (Bauherren, Planer, Unternehmer und Verwaltungen) anwenderfreundlicher zu gestalten. Alle drei Normen basieren auf dem Teilsicherheitskonzept und regeln den Entwurf, die Berechnung und Bemessung in der Geotechnik sowie die geotechnischen Einwirkungen bei Gebäuden und Ingenieurbauwerken sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene.

Während die in DIN EN 1997-1 zu findenden Regeln europaweit gelten, beinhalten DIN EN 1997-1/NA und DIN 1054 nur für Deutschland geltende Bestimmungen. Der Nationale Anhang (DIN EN 1997-1/NA:2010-12) enthält Verfahren, Werte und Empfehlungen mit Hinweisen, die gemäß DIN EN 1997-1 der nationalen Festlegung vorzubehalten sind (Näheres z. B. im Vorwort von DIN EN 1997-1). Da DIN 1054 ausschließlich ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1 beinhaltet, ist sie nur in Verbindung mit DIN EN 1997-1 und DIN EN 1997-1/NA anwendbar.

Bei den einzelnen Regelungen in DIN EN 1997-1 ist zwischen „Grundsätzen“ und „Anwendungsregeln“ zu unterscheiden. Die Grundsätze betreffen

- allgemeine Feststellungen und Begriffsbestimmungen, zu denen es keine Alternative gibt,
- Anforderungen und Berechnungsmodelle, von denen ohne ausdrückliche Zustimmung nicht abgewichen werden darf.

Grundsätze sind daran zu erkennen, dass ihnen der Buchstabe P vorgestellt ist.

Bezüglich der Anwendungsregeln gilt, dass sie

- Beispiele anerkannter Regeln sind, die den Grundsätzen entsprechen,
- durch alternative Regeln ersetzt werden dürfen, wenn diese
 - den einschlägigen Grundsätzen entsprechen,
 - in Bezug auf Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit Ergebnisse erwarten lassen, die mindestens den Ergebnissen gleichwertig sind, die bei Anwendung der Eurocode-Regeln zu erwarten sind.

Die in DIN 1054 zu findenden nationalen Ergänzungen zu DIN EN 1997-1 sind Anwendungsregeln. Ein Beispiel hierfür ist die Einteilung der Bemessungssituationen.

In den folgenden Abschnitten wird auf einige Punkte eingegangen, die zur geotechnischen Bemessung auf der Basis von Berechnungen gehören (DIN EN 1997-1, 2.4).

Der Vergleich der oben aufgeführten Normen mit DIN 1054:2005-01 [42] zeigt eine Vielzahl von Änderungen, die insbesondere auch die geotechnischen Bemessungen auf der Basis von Berechnungen betreffen (DIN EN 1997-1, 2.4 und DIN 1054, 2.4). Hierfür werden u. a. Angaben zu

- Einwirkungen und ihren Kombinationen,
- Beanspruchungen,
- geotechnischen Kenngrößen,
- Widerständen,
- Grenzzuständen,
- Bemessungssituationen

benötigt, auf die in den nachstehenden Abschnitten näher eingegangen wird.

Zuvor sei allerdings noch darauf hingewiesen, dass das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN) über das Internet u. a. Antworten auf Auslegungs-Anfragen zu DIN-Normen des Bauwesens zusammengestellt hat, mit deren Hilfe sich das Verständnis aktueller Normen vertiefen lässt. Der entsprechende Zugang ist kostenlos und erfolgt über <http://www.din.de> (Homepage des DIN), verbunden mit den aufeinanderfolgenden Mouseclicks auf den Button „Normen erarbeiten“, den Button „Normenausschüsse“, den Button „NA 005 Normenausschuss Bauwesen (NABau)“, den Button „Aktuelles“, den Button „Auslegungen zu DIN-Normen“ und schließlich den Button „Antworten zu Auslegungs-Anfragen“. Am Ende der so aufgerufenen Seite finden sich eine Reihe von Normen, zu denen entsprechende Informationen vorliegen. Mit einem Mouseclick auf z. B. „Auslegungen zu DIN 1054“ öffnet sich eine weitere Seite, an deren Ende über „Auslegungen zu DIN 1054“ ein entsprechendes pdf-File geöffnet und auch heruntergeladen werden kann. Es enthält neben Antworten zu Auslegungs-Anfragen auch Berichtigungen.

1.2 Einwirkungen, geotechnische Kenngrößen, Widerstände

Nach DIN EN 1997-1, 1.5.2 und DIN EN 1990 [99], 1.5.1 ist ein

- Bauwerk (Tragwerk) die planmäßige Anordnung miteinander verbundener Bauteile (einschließlich während der Bauausführung vorgenommener Auffüllungen) zum Zweck der Lastabtragung und zur Erzielung ausreichender Steifigkeit,
- Bauteil ein physisch unterscheidbarer Teil eines Tragwerks (z.B. Stütze, Träger, Deckenplatte, Gründungspfahl usw.).

Bei der Führung der in DIN EN 1997-1 geforderten Sicherheitsnachweise muss u. a. die Größe der Einwirkungen und Beanspruchungen, der geotechnischen Kenngrößen und der Widerstände bekannt sein.

Die nachstehenden Bezeichnungen sind DIN EN 1990, 1.5.3 [99] und DIN EN ISO 14689-1 [127] entnommen.

Einwirkung (F) Sammelbegriff für

- eine Gruppe von Kräften (Lasten), wie z. B. Eigenlasten sowie Wind-, Schnee- und Verkehrslasten, die auf ein Tragwerk einwirken (direkte Einwirkung),
- eine Gruppe aufgezwungener Verformungen oder Beschleunigungen (physikalisch oder chemisch verursacht), wie sie durch Temperaturänderungen, Feuchtigkeitsänderungen, Quellen oder Schrumpfen des Bodens, ungleiche Setzungen, Erdbeben usw. hervorgerufen werden können (indirekte Einwirkung).

geotechnische Einwirkung eine Einwirkung, die vom Boden, durch Bodenverfüllung oder Grundwasser auf das Bauwerk übertragen wird.

Kombination von Einwirkungen erfasst alle gleichzeitig auftretenden Einwirkungen bezüglich ihrer Bemessungswerte, wie sie für den Nachweis der Tragwerkszuverlässigkeit für einen Grenz-zustand benötigt werden.

Auswirkung von Einwirkungen (E) durch Einwirkungen hervorgerufene

- Beanspruchungen von Bauteilen, wie z. B. Schnittkräfte, Momente, Spannungen und Dehnungen oder
- Reaktionen des Gesamtbauwerks, wie z. B. Durchbiegungen und Verdrehungen.

Zu den weiteren Begriffen in Verbindung mit der „Einwirkung“ gehören nach DIN EN 1990, 1.5.3 [99] u. a.

- *ständige Einwirkung* (G),
- *veränderliche Einwirkung* (Q),
- *statische Einwirkung*,
- *dynamische Einwirkung*,
- *quasi-statische Einwirkung*,
- *charakteristischer Wert einer Einwirkung* (F_k),
- *Bemessungswert einer Einwirkung* (F_d),
- *repräsentativer Wert einer Einwirkung* (F_{rep}).

In DIN EN 1997-1, 1.5.2.7 findet sich die Definition für

Widerstand als mechanische Eigenschaft eines Bauteils oder Bauteil-Querschnitts, Einwirkungen ohne Versagen zu widerstehen (z. B. Widerstand des Baugrunds, Scherfestigkeiten, Steifigkeiten oder auch Biege-, Eindring-, Erd-, Herauszieh-, Knick-, Scher-, Seiten-, Sohl- und Zugwiderstand).

1.2.1 Einwirkungen

Einwirkungen können bezüglich ihrer anzusetzenden zahlenmäßigen Größen den verschiedenen Teilen von DIN EN 1991 entnommen werden. Die auszuwählenden Werte der geotechnischen Einwirkungen sind ggf. Schätzwerte, die sich im Zuge der Berechnung noch ändern können.

Für geotechnische Bemessungen sollten u. a. nach 2.4.2 von DIN EN 1997-1 und DIN 1054 als Einwirkungen berücksichtigt werden:

- geotechnische Einwirkungen wie
 - Eigenlasten von Boden Fels und Wasser,
 - Spannungen im Untergrund,
 - Erddrücke,
 - Wasserdrücke aus offenen Gewässern (einschließlich der Wellendrücke) und aus Grundwasser,
 - Strömungsdrücke,
 - Eislasten,
 - durch die Vegetation, das Klima oder Feuchtigkeitsänderungen hervorgerufenen Schwellen oder Schrumpfen von Bodenmaterial,
 - Bewegungen infolge kriechender, rutschender oder sich setzender Bodenmassen,
 - Baugrundverformungen infolge Herstellung und Nutzung der Bauwerks sowie infolge von Belastungen benachbarten Bodens,
 - weiträumige Baugrundbewegungen (z. B. infolge untertägiger Massentnahme beim Berg- oder Tunnelbau,
 - Temperatureinwirkungen (einschließlich der Frostwirkung),
 - Auflasten (z. B. Auffüllungen),
 - Entlastungen (z. B. durch Bodenaushub,
 - Bodenbewegungen infolge von Entfestigung, Suffosion (Abtransport feiner Bodenteilchen durch strömendes Wasser, hierfür besonders anfällig sind weitgestufte Böden), Zerfall, Eigidichtung und chemische Lösungsvorgänge,
 - Bewegungen und Beschleunigungen durch Erdbeben, Explosionen, Schwingungen und dynamische Belastungen,

- Vorspannung von Bodenankern oder Steifen,
 - auf Pfähle wirkende Seitendrucke,
 - abwärts gerichteter Zwang (z. B. negative Mantelreibung),
 - Verkehrslasten,
- Einwirkungen aus Bauwerken (Gründungslasten) wie z. B.
- ruhende und eingeprägte Bauwerkslasten aus einem aufliegenden Tragwerk, die sich aus dessen statischer Berechnung ergeben (Eigenlasten, Verkehrslasten, Wind, Schnee usw.),
 - Pollerzugkräfte,
- die im Regelfall in Höhe der Oberkante der Gründungskonstruktion anzugeben sind.

1.2.2 Geotechnische Kenngrößen

Nach DIN EN 1997-1, 2.4.3 sind für rechnerische Nachweise charakteristische geotechnische Kenngrößen zahlenmäßig anzugeben, mit deren Hilfe die Eigenschaften der Boden- und Felsbereiche zu erfassen sind, die für die Berechnungen bedeutsam sind. Die Ermittlung der Zahlenwerte kann z. B. durch Versuche auf direktem Wege oder über Korrelationen erfolgen. Der letztendlich zu wählende charakteristische Wert soll eine vorsichtige Schätzung des im Grenzzustand wirkenden Wertes darstellen. Bei der Festlegung des jeweiligen Werts sind auch vergleichbare Erfahrungen zu berücksichtigen.

1.2.3 Widerstände

Widerstände von Boden und Fels sind Schnittgrößen bzw. Spannungen, die im oder am Tragwerk oder auch im Baugrund wirken können und sich infolge der Festigkeit bzw. der Steifigkeit der Baustoffe oder des Baugrunds ergeben. Gemäß DIN 1054, Tabelle A 2.3 (identisch mit Tabelle 1-3) können sie auftreten als

- Scherfestigkeiten,
- Sohlwiderstände (Grundbruch- bzw. Gleitwiderstand),
- Erdwiderstände (Relativbewegung zwischen Konstruktion und Boden beachten),
- Eindring- und Herauszieh-Widerstände von Pfählen, Zuggliedern oder Ankerkörpern.

1.3 Charakteristische und repräsentative Werte

1.3.1 Charakteristische Werte

Für die Bemessung geotechnischer Bauwerke sind in einem ersten Schritt charakteristische Werte (Kennzeichnung mit dem Index „k“) festzulegen. Sie betreffen

- Einwirkungen F_k und Beanspruchungen E_k ,
- geotechnischen Kenngrößen M_k ,
- Widerstände R_k .

Die Werte charakteristischer Einwirkungen sind nach DIN EN 1997-1, 2.4.5.1 gemäß DIN EN 1990 [99] und den verschiedenen Teilen von DIN EN 1991 festzulegen.

Handelt es sich um charakteristische Werte von geotechnischen Kenngrößen, sind bei deren Wahl u. a. (vgl. 2.4.5.2 von DIN EN 1997-1 und DIN 1054)

- geologische und zusätzliche Informationen (wie z. B. Projekterfahrungen),
- Streuungen von Messgrößen,

- der Umfang der Feld- und Laboruntersuchungen sowie die Art und Anzahl der Bodenproben,
- die Ausdehnung des Baugrundbereichs, der das Verhalten des geotechnischen Bauwerks maßgeblich beeinflusst,
- die Möglichkeit, dass das geotechnische Bauwerk Lasten aus weicheren in festere Baugrundbereiche umlagert

zu beachten. Darüber hinaus sind die charakteristischen Werte anhand der Ergebnisse und abgeleiteter Werte aus Labor- und Feldversuchen zu wählen, wobei auch vergleichbare Erfahrungen zu berücksichtigen sind. Als charakteristischer Wert einer geotechnischen Kenngröße ist eine vorsichtig geschätzte Größe des Wertes zu vereinbaren, der im Grenzzustand wirkt. Handelt es sich bei der geotechnischen Kenngröße um die Scherfestigkeit, darf diese als vorsichtig geschätzter Mittelwert festgelegt werden, wenn sich der Boden ausreichend duktil verhält. Dies ist dann der Fall, wenn sich ein Verlust der Tragfähigkeit durch große Verformungen ankündigt. Nicht duktil verhalten sich z. B. wassergesättigte Böden mit sehr großen Porenzahlen n , die schon bei einer geringen Störung flüssig werden können (insbesondere zum Setzungsfließen neigende Sande oder Quicktone). Bei der Festlegung der charakteristischen Scherparameter ist zu beachten, dass die Werte der Kohäsion c' stärker streuen als die Werte des Reibungswinkels φ' .

Nach [42], 5.3, sind charakteristische Bodenkenngrößen grundsätzlich so festzulegen, dass die Ergebnisse der damit durchgeführten Berechnungen auf der sicheren Seite liegen.

1.3.2 Repräsentative Werte

Repräsentative Werte sind in den Normen DIN 1054, DIN EN 1990 [99] und DIN 1997-1 mit Einwirkungen verbunden. Zu ihrer Kennzeichnung wird der Index „rep“ verwendet.

Nach DIN EN 1997-1, 2.4.6.1 berechnet sich der repräsentative Wert einer Einwirkung mit dem charakteristischen Wert F_k der Einwirkung und dem Kombinationsbeiwert ψ zu

$$F_{\text{rep}} = \psi \cdot F_k \quad \text{mit } \psi \leq 1 \quad \text{Gl. 1-1}$$

Handelt es sich bei F_k um eine ständige Einwirkung oder um die Leiteinwirkung der veränderlichen Einwirkungen (dominierende Einwirkung), gilt nach DIN 1054, 2.4.6.1

$$F_{\text{rep}} = F_k \quad \text{Gl. 1-2}$$

In Fällen, in denen mehrere veränderliche und voneinander unabhängige charakteristische Einwirkungen $Q_{k,i}$ gleichzeitig auftreten können, sind diese in einer „Kombination“ zusammenzufassen. Dies setzt allerdings Tragwerke voraus, die linear-elastisch berechnet werden können, da nur dann das Superpositionsprinzip gültig ist. Nachdem eine dieser Einwirkungen als Leiteinwirkung $Q_{k,1}$ festgelegt ist, ergibt sich der repräsentative Wert dieser Kombination mit $Q_{k,1}$ sowie den übrigen veränderlichen Einwirkungen $Q_{k,i}$ und den ihnen zuzuordnenden Kombinationswerten $\psi_{0,i}$ aus

$$Q_{\text{rep}} = Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Gl. 1-3}$$

Die Zeichenkombination „+“ hat darin die Bedeutung „ergibt sich aus“ und die Kombination „+“ die Bedeutung „in Verbindung mit“. Bezüglich der Größe der zu wählenden Kombinationsbeiwerte ist auf DIN EN 1990 [99] sowie auf die für Hochbauten geltende Tabelle A 1.1 in DIN EN 1990/NA [100] hinzuweisen. In der Geotechnik ist nach DIN 1054, A 2.4.6.1.1 A (3) der Wert $\psi_0 = 0,8$ zu verwenden.

1.4 Grenzzustände

Mit Grenzzuständen wird mögliches Versagen des Bauwerks oder des Baugrunds oder auch gleichzeitiges Versagen von Bauwerk und Baugrund erfasst. Zu entsprechenden Nachweisen gehörende Anforderungen hinsichtlich der Festigkeit, Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken sind in DIN EN 1997-1 und DIN 1054 zu finden. Für rechnerische Nachweise benötigte Teilsicherheitsbeiwerte, die zu

- Einwirkungen und Beanspruchungen,
- geotechnischen Kenngrößen,
- Widerständen

gehören, lassen sich der jeweiligen Tabelle in DIN 1054 entnehmen (siehe Abschnitt 1.5).

Bei den Grenzzuständen ist zwischen dem Grenzzustand der

- Gebrauchstauglichkeit SLS (**S**erviceability limit state) und
- Tragfähigkeit ULS (**U**ltimate limit state)

zu unterscheiden. Der Grenzzustand SLS erfasst den Zustand von Bauwerken oder Bauteilen, in dem deren Nutzung nicht mehr zulässig ist, obwohl ihre Tragfähigkeit noch nicht verloren ging (die zu erwartenden Verschiebungen und Verformungen sind mit dem Zweck des Bauwerks oder Bauteils nicht mehr vereinbar). Bei entsprechenden Nachweisen werden ausschließlich zu Einwirkungen und Beanspruchungen gehörende Teilsicherheitsbeiwerte benötigt, die zum Grenzzustand SLS gehören (vgl. Tabelle 1-2)). Der bei Tragfähigkeitsnachweisen (Festigkeit und Standsicherheit) zu beachtende Grenzzustand ULS gliedert sich hingegen in die Grenzzustände

- **HYD (hydraulic failure, Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch)**, er betrifft das Versagen infolge Strömungsgradienten im Boden (Beispiele: hydraulischer Grundbruch, innere Erosion und Piping) und ist, bezüglich der Teilsicherheitsbeiwerte, mit Einwirkungen, Beanspruchungen und geotechnischen Kenngrößen verbunden (vgl. Abschnitt 1.5),
- **UPL (uplift, Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit des Bauwerks oder Baugrunds infolge von Aufschwimmen)**, er betrifft den Gleichgewichtsverlust von Bauwerk oder Baugrund infolge Aufschwimmen durch Wasserdruck (Auftrieb) oder anderer vertikaler Einwirkungen und ist, bezüglich der Teilsicherheitsbeiwerte, mit Einwirkungen, Beanspruchungen und geotechnischen Kenngrößen verbunden (vgl. Abschnitt 1.5),
- **EQU (equilibrium, Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit)**, er betrifft den Gleichgewichtsverlust des als starren Körper angesehenen Tragwerks oder des Baugrunds (für den Widerstand sind dabei die Festigkeit der Baustoffe und des Baugrunds ohne Bedeutung) und ist, bezüglich der Teilsicherheitsbeiwerte, mit Einwirkungen und Beanspruchungen verbunden (vgl. Abschnitt 1.5),
- **STR (structure failure, Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen)**, er betrifft das innere Versagen oder sehr große Verformungen des Bauwerks oder seiner Bauteile, einschließlich der Fundamente, Pfähle, Kellerwände usw. (für den Widerstand ist dabei die Festigkeit der Baustoffe und des Baugrunds entscheidend) und ist, bezüglich der Teilsicherheitsbeiwerte, mit Einwirkungen, Beanspruchungen und Widerständen verbunden (vgl. Abschnitt 1.5),
- **GEO (geotechnic failure, Grenzzustand des Versagens von Baugrund)**, er betrifft das innere Versagen oder sehr große Verformungen des Baugrunds (für den Widerstand ist dabei die Festigkeit der Locker- und Festgesteine entscheidend) und ist, bezüglich der Teilsicherheitsbeiwerte, mit Einwirkungen, Beanspruchungen, geotechnischen Kenngrößen und Widerständen verbunden (vgl. Abschnitt 1.5),

- GEO-2 (Grenzzustand des Versagens von Baugrund, bei dem das Nachweisverfahren 2 anzuwenden ist), er betrifft das innere Versagen oder sehr große Verformungen des Baugrunds (für den Widerstand ist dabei die Festigkeit der Locker- und Festgesteine entscheidend),
- GEO-3 (Grenzzustand des Versagens von Baugrund durch den Verlust der Gesamtstandsicherheit, bei dem das Nachweisverfahren 3 anzuwenden ist), er betrifft das innere Versagen oder sehr große Verformungen des Baugrunds (für den Widerstand ist dabei die Festigkeit der Locker- und Festgesteine entscheidend).

Bezüglich des zum Grenzzustand GEO-2 gehörenden Nachweisverfahrens 2 bzw. des zum Grenzzustand GEO-3 gehörenden Nachweisverfahrens 3 sei auf DIN EN 1997-1, 2.4.7.3.4.3 bzw. 2.4.7.3.4.4 sowie die zugehörigen Anmerkungen von DIN 1054 hingewiesen.

Zur Erleichterung des Verständnisses der neuen Grenzzustandsdefinitionen wird nachstehend noch ein Vergleich mit Grenzzuständen gemäß DIN 1054:2005-01 vorgenommen (vgl. hierzu *Schuppener* (Beitrag in [286], Tabelle B 2.2). Dem bisherigen Grenzzustand

- GZ 1A (Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit) entsprechen die „neuen“ Grenzzustände EQU, UPL und HYD ohne Einschränkung,
- GZ 1B (Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen) entspricht der Grenzzustand STR ohne Einschränkung als „innere“ Tragfähigkeit (Materialfestigkeit); hinzu kommt der Grenzzustand GEO-2 in Zusammenhang mit der „äußeren“ Bemessung von Gründungselementen (z. B. „äußere“ Pfahltragfähigkeit),
- GZ 1C (Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit) entspricht der Grenzzustand GEO-3 in Zusammenhang mit der Inanspruchnahme der Scherfestigkeit beim Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch und Geländebruch.

1.5 Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte

Im Zuge von Berechnungen zum Nachweis der Tragfähigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit werden für Einwirkungen und Beanspruchungen sowie für geotechnische Kenngrößen und Widerstände Bemessungswerte benötigt (vgl. Abschnitt 1.6), deren Größe u. a. mit Hilfe von Teilsicherheitsbeiwerten (vgl. Abschnitt 1.5.2) zu bestimmen ist. Aus den Tabellen des Abschnitts 1.5.2 geht hervor, dass die Zahlenwerte der Teilsicherheitsbeiwerte neben anderen Aspekten auch von der jeweils anzunehmenden Bemessungssituation (BS) abhängig sind.

1.5.1 Bemessungssituationen

Gemäß DIN EN 1997-1/NA sind grundsätzlich vier Bemessungssituationen zu unterscheiden, die im Folgenden erläutert werden (vgl. DIN 1054, 2.2 A (4)):

- BS-P ständige Situationen (**P**ersistent situations), die den üblichen Nutzungsbedingungen des Tragwerks entsprechen. Zu berücksichtigen sind ständige Einwirkungen und veränderliche Einwirkungen, die während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftreten.
- BS-T vorübergehende Situationen (**T**ransient situations), die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen, wie etwa
 - Bauzustände bei der Bauwerksherstellung,
 - Bauzustände an einem bestehenden Bauwerk (z. B. bei Reparaturen oder infolge von Aufgrabungs- oder Unterfangungsarbeiten),

- Baumaßnahmen für vorübergehende Zwecke (z. B. Baugrubenböschungen und Baugrubenkonstruktionen, soweit für Steifen, Anker und Mikropfähle nichts anderes festgelegt ist).

Außer den vorübergehenden Einwirkungen erfasst die Bemessungssituation BS-T auch die ständigen Einwirkungen der Situation BS-P. Zu BS-T kann darüber hinaus auch eine selten auftretende Einwirkung gehören, wie z. B. eine

- ungewöhnlich große Einwirkung,
- planmäßige einmalige Einwirkung,
- möglicherweise nie auftretende Einwirkung.

Mehrere voneinander abhängige Einwirkungen sind dabei als eine Einwirkung zu behandeln.

- BS-A außergewöhnliche Situationen (Accidental situations), die sich auf außergewöhnliche Gegebenheiten des Tragwerks oder seiner Umgebung beziehen. Hierzu gehören z. B.
 - Feuer oder Brand,
 - Explosion,
 - Anprall,
 - extremes Hochwasser,
 - Ankerausfall.

Neben den außergewöhnlichen Einwirkungen erfasst diese Bemessungssituation aber auch ständige und regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen so wie das in den Bemessungssituationen BS-P und BS-T der Fall ist.

Als außergewöhnlich sind auch Situationen zu betrachten, bei denen gleichzeitig mehrere voneinander unabhängige seltene Einwirkungen zu berücksichtigen sind, wie etwa eine

- ungewöhnlich große Einwirkung,
- planmäßige einmalige Einwirkung,
- möglicherweise nie auftretende Einwirkung.

- BS-E für Erdbebeneinwirkungen geltende Bemessungssituationen (Earthquake situations).

Bei den Bemessungssituationen BS-A oder BS-E lässt sich nicht ausschließen, dass das jeweilige Bauwerk nach Eintritt einer solchen Situation den Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr genügt und außerdem in entsprechender Weise geschädigt ist. Zur Vermeidung solcher Schäden sind Maßnahmen zu empfehlen, mit denen die Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden kann.

Bei Baumaßnahmen, die Baugrubenkonstruktionen betreffen, darf in besonderen Situationen gemäß EAB, EB 24, Absatz 4 [136] die Bemessungssituation BS-T mit abgeminderten Teilsicherheitsbeiwerten unter der Bezeichnung BS-T/A eingefügt werden (vgl. hierzu DIN 1054, 2.2 A (6) und EAB, EB 79 [136]). Bei den veränderlichen Einwirkungen, die dabei neben den Lasten des Regelfalls zusätzlich zu berücksichtigen sind, handelt es sich um

- Fliehkräfte, Bremskräfte und Seitenstoß (z. B. bei Baugruben neben oder unter Eisen- oder Straßenbahnen),
- selten auftretende Lasten und unwahrscheinliche oder selten auftretende Kombinationen von Lastgrößen und Lastangriffspunkten,
- Wasserdruck infolge von Wasserständen, die über den vereinbarten Bemessungswasserstand hinausgehen können (z. B. Wasserstände, bei deren Eintreten die Baugrube überflutet wird oder geflutet werden muss),

- Temperaturwirkungen auf Steifen, (z. B. bei Stahlsteifen aus I-Profilen ohne Knickhaltung oder bei schmalen Baugruben in frostgefährdetem Boden).

In EAB, EB 24 [136] finden sich auch Beispiele für ständige, regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen sowie für Lasten, die ggf. neben den Lasten des Regelfalls zu berücksichtigen sind.

Zum schnelleren Verständnis der neuen Bemessungssituationen sei auf ihre Beziehung mit den Lastfällen aus DIN 1054:2005-01 hingewiesen (vgl. hierzu EA-Pfähle, 1.2.2 [137]). Dem bisherigen Lastfall

- LF 1 entspricht die Bemessungssituation BS-P,
- LF 2 entspricht die Bemessungssituation BS-T,
- LF 3 entspricht die Bemessungssituation BS-A.

Zu diesen drei Fällen kommt noch die „neue“ Bemessungssituation BS-E hinzu.

1.5.2 Teilsicherheitsbeiwerte

In den nachstehenden Tabellen werden Teilsicherheitsbeiwerte angegeben, die bei der Berechnung der Bemessungswerte von

- Einwirkungen und Beanspruchungen (Tabelle 1-2),
- Widerständen (Tabelle 1-3),
- geotechnischen Kenngrößen (Tabelle 1-1)

zu verwenden sind und deren zahlenmäßigen Größen abhängen von der jeweils anzusetzenden Bemessungssituation (BS-P oder BS-T oder BS-A) bzw. von dem jeweils zu betrachtenden Grenzzustand (HYD oder UPL oder EQU oder STR und GEO-2 oder GEO-3 oder SLS).

Tabelle 1-1 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M (Materialeigenschaft M im Einzelfall) für geotechnische Kenngrößen; nach DIN 1054, Tabelle A 2.2

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränen Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_U$ des undränen Bodens	$\gamma_{\varphi'}$, γ_{φ_U}	1,00	1,00	1,00
Kohäsion c' des dränen Bodens und Scherfestigkeit c_U des undränen Bodens	$\gamma_{c'}$, γ_{c_U}	1,00	1,00	1,00
GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränen Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_U$ des undränen Bodens	$\gamma_{\varphi'}$, γ_{φ_U}	1,00	1,00	1,00
Kohäsion c' des dränen Bodens und Scherfestigkeit c_U des undränen Bodens	$\gamma_{c'}$, γ_{c_U}	1,00	1,00	1,00
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränen Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_U$ des undränen Bodens	$\gamma_{\varphi'}$, γ_{φ_U}	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' des dränen Bodens und Scherfestigkeit c_U des undränen Bodens	$\gamma_{c'}$, γ_{c_U}	1,25	1,15	1,10

Anmerkung zu Tabelle 1-1: In der Bemessungssituation BS-E werden nach DIN EN 1990 [99] keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt.

Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass die Einführung des Teilsicherheitskonzepts einen über mehrere Jahrzehnte gehenden Prozess darstellte, in dessen Verlauf sich die Ansätze der Herangehensweise erheblich veränderten. Hierzu gehört u. a., dass dieses neue Sicherheitskonzept an dem alten „globalen“ Sicherheitskonzept „geeicht“ wurde (vgl. hierzu z. B. *Weißbach* [315]). Bezüglich der Festlegung der Zahlenwerte für die verschiedenen Teilsicherheitsbeiwerte führte das zu der Forderung, dass die sich im Rahmen des Teilsicherheitskonzepts ergebenden Sicherheiten des Bauwerks bzw. Bauteils möglichst weitgehend den Sicherheiten entsprechen sollten, die sich bei der Anwendung von „Globalsicherheitsbeiwerten“ („altes“ Sicherheitskonzept) ergeben.

Tabelle 1-2 Für Einwirkungen und Beanspruchungen geltende Teilsicherheitsbeiwerte γ_F (Einwirkung F im Einzelfall) bzw. γ_E (Beanspruchung E im Einzelfall); nach DIN 1054, Tabelle A 2.1

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
destabilisierende ständige Einwirkungen ^a	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab}$	0,95	0,95	0,95
destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stab}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	1,35	1,30	1,20
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,80	1,60	1,35
EQU: Grenzzustand des Verlusts der Lagesicherheit				
ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,10	1,05	1,00
Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab}$	0,90	0,90	0,95
ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,25	1,00
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein ^a	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen ^b	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruchdruck	$\gamma_{G,E0}$	1,20	1,10	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10
Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	0	0	0
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Ständige Einwirkungen ^a	γ_G	1,00	1,00	1,00
ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit				
Ständige Einwirkungen bzw. Beanspruchungen	γ_G	1,00		
veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen	γ_Q	1,00		