

Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA-Pfähle

Herausgegeben von der
Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.



Empfehlungen des
Arbeitskreises „Pfähle“

EA-Pfähle

200 Jahre Wiley – Wissen für Generationen

John Wiley & Sons feiert 2007 ein außergewöhnliches Jubiläum: Der Verlag wird 200 Jahre alt. Zugleich blicken wir auf das erste Jahrzehnt des erfolgreichen Zusammenschlusses von John Wiley & Sons mit der VCH Verlagsgesellschaft in Deutschland, einschließlich des Ernst & Sohn Verlages für Architektur und technische Wissenschaften, zurück. Seit Generationen vermitteln Wiley und Wiley-VCH als auch Ernst & Sohn die Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung und technischer Errungenschaften in der jeweils zeitgemäßen medialen Form.

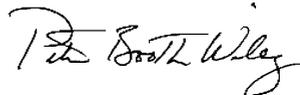
Jede Generation hat besondere Bedürfnisse und Ziele. Als Charles Wiley 1807 eine kleine Druckerei in Manhattan gründete, hatte seine Generation Aufbruchsmöglichkeiten wie keine zuvor. Wiley half, die neue amerikanische Literatur zu etablieren. Etwa ein halbes Jahrhundert später, während der „zweiten industriellen Revolution“ in den Vereinigten Staaten, konzentrierte sich die nächste Generation auf den Aufbau dieser industriellen Zukunft. Wiley bot die notwendigen Fachinformationen für Techniker, Ingenieure und Wissenschaftler. Das ganze 20. Jahrhundert wurde durch die Internationalisierung vieler Beziehungen geprägt – auch Wiley verstärkte seine verlegerischen Aktivitäten und schuf ein internationales Netzwerk, um den Austausch von Ideen, Informationen und Wissen rund um den Globus zu unterstützen.

Wiley begleitete während der vergangenen 200 Jahre viele Generationen und fördert heute den weltweit vernetzten Informationsfluss, damit auch unsere global wirkende Generation ihre Ansprüche erfüllen kann und ihr Ziel erreicht. Immer rascher verändert sich unsere Welt, und es entstehen neue Technologien, die unser Leben und Lernen zum Teil tief greifend verändern. Beständig nimmt Wiley diese Herausforderungen an und stellt für Sie das notwendige Wissen bereit, das Sie neue Welten, neue Möglichkeiten und neue Gelegenheiten erschließen lässt.

Generationen kommen und gehen: Aber Sie können sich darauf verlassen, dass Wiley Sie als beständiger und zuverlässiger Partner mit dem notwendigen Wissen versorgt.



William J. Pesce
President and Chief Executive Officer



Peter Booth Wiley
Chairman of the Board

Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA-Pfähle

Herausgegeben von der
Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.



Arbeitskreis AK 2.1 „Pfähle“ der
Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT)
Obmann: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert
Institut für Geotechnik
Universität Kassel
Mönchebergstraße 7
34125 Kassel

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.

ISBN 978-3-433-01870-5

© 2007 Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin

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 Datenverarbeitungsmaschinen, 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 photoprint, 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.

Satz: Manuela Treindl, Laaber

Druck: betz-druck GmbH, Darmstadt

Bindung: Litges & Dopf GmbH, Heppenheim

Printed in Germany

Mitglieder des Arbeitskreises AK 2.1 „Pfähle“

Zum Zeitpunkt der Herausgabe der vorliegenden Sammelveröffentlichung setzte sich der Arbeitskreis „Pfähle“ wie folgt zusammen:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.-G. Kempfert, Kassel (Obmann)
Dr.-Ing. W.-R. Linder, Essen (stellvertr. Obmann)
Dipl.-Ing. W. Brieke, Düsseldorf
Dipl.-Ing. A. Ellner, Nürnberg
Dipl.-Ing. W. Faller, Berlin
Dipl.-Ing. A. Gandyra, Berlin
Dipl.-Ing. M. Glimm, Hamburg
Dipl.-Ing. R. Jörger, Mannheim
Dr.-Ing. O. Klingmüller, Mannheim
Dipl.-Ing. W. Körner, Hamburg
Dr.-Ing. Chr. Moormann, Stuttgart
Dr.-Ing. K. Morgen, Hamburg
Prof. Dr.-Ing. D. Placzek, Essen
Dipl.-Ing. U. Plohmann, Eggenstein
Dr.-Ing. K. Röder, Leipzig
Dr.-Ing. H. G. Schmidt, Ladenburg
Dr.-Ing. P. Schwarz, München
Dr.-Ing. W. Schwarz, Schrobenhausen
Dr.-Ing. S. Weihrauch, Hamburg
Dr.-Ing. J. Zurborg, Düsseldorf

Bei der Bearbeitung der EA-Pfähle haben mitgearbeitet bzw. mitgewirkt:

Unterausschuss „Dynamische Pfahlprüfungen“

Mitarbeit zu Kapitel 10 und den Abschnitten 12.2 und 12.3

Dr.-Ing. O. Klingmüller, Mannheim (Obmann)
Dipl.-Ing. A. Beneke, Achim
Dr.-Ing. U. Ernst, Nürnberg
Dipl.-Ing. M. Fritsch, Braunschweig
Dipl.-Ing. G. Kainrath, Österreich
Dr.-Ing. F. Kirsch, Berlin
Dipl.-Ing. Ch. Leible, Mannheim
P. Middendorp, MSc, Holland
Dr. F. Rausche, USA
Prof. Dr.-Ing. W. Rücker, Berlin
Dipl.-Ing. W. Schallert, Berlin
Dipl.-Ing. D. Schau, Holzbunge
Dr.-Ing. W. Schwarz, Schrobenhausen
Dr.-Ing. H.-M. Suckow, Braunschweig

R. Skov, MSc, Dänemark
Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Stahlmann, Braunschweig
Dr.-Ing. G. Ulrich, Leutkirch
Dr.-Ing. B. Wienholz, Oldenburg

Unterausschuss „KPP- und Pfahlgruppen-Gründungen“

Mitwirkung zu den Abschnitten 8.1.1, 8.2.1, 8.3.1 und 8.4.1

Prof. Dr.-Ing. Th. Richter, Berlin (Obmann)
Dipl.-Ing. U. Barth, Mannheim
Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Katzenbach, Darmstadt
Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.-G. Kempfert, Kassel
Prof. Dr.-Ing. B. Lutz, Berlin
Dr.-Ing. Y. El-Mossallamy, Darmstadt
Dr.-Ing. H. Wahrmund, Köln
Dr.-Ing. Chr. Moormann, Stuttgart

Vorwort und Benutzerhinweise

Die Normung über die Ausführung und Bemessung von Pfahlgründungen und einzelnen Pfahlsystemen hat in Deutschland eine lange Tradition. Dabei arbeitet der Normenausschuss „Pfähle“ (NA 005-05-07) und der Arbeitskreis AK 2.1 „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) langjährig in Personalunion zusammen. Dieser gemeinsame Ausschuss hat in den vergangenen Jahrzehnten die in der Praxis bekannten und eingeführten Pfahlnormen DIN 4026 (Ramppfähle), DIN 4014 (Bohrpfähle) und DIN 4128 (Verpresspfähle) sowie den Pfahlteil der DIN 1054 (Abschnitt 5) bearbeitet und in den einzelnen Ausgaben dem Stand der Technik angepasst.

Mit dem Beginn der europäischen Normung Ende der 1980er Jahre hat der Ausschuss die Aufgabe, die europäischen Ausführungsnormen DIN EN 1536 (Bohrpfähle), DIN EN 12 699 (Verdrängungspfähle) und DIN EN 14 199 (Mikropfähle) als nationaler Spiegelausschuss zu begleiten. Bezüglich der Berechnung und Bemessung von Pfählen lag sein Aufgabenschwerpunkt bei der Bearbeitung des entsprechenden Abschnittes in der „neuen“ DIN 1054:2005-01 und Vorläufern unter Berücksichtigung des Teilsicherheitskonzeptes. Derzeit erfolgt eine Zuarbeit zum nationalen Anwendungsdokument zur DIN EN 1997-1 (Eurocode EC 7-1) in Form der Ergänzungsnorm DIN 1054:2007 für den Pfahlabschnitt.

Aufgrund der sich national und europäisch stark verändernden Regelungen auf dem Pfahlsektor, vorliegender Empfehlungen und Publikationen des Pfahlausschusses, z. B. „Seitendruck auf Pfähle“, „Dynamische Pfahlprüfungen“ usw., sowie neuer Erkenntnisse, die formal nicht unmittelbar in die Pfahlnormung einzubringen sind, hat sich der DGGT-Arbeitskreis AK 2.1 „Pfähle“ entschlossen, zusammenfassende Empfehlungen zur Berechnung und Bemessung von Pfählen national herauszugeben. Die „EA-Pfähle“ sieht sich damit in der Tradition vergleichbarer Empfehlungen der DGGT, wie z. B. EAB, EBGEO, usw., die sich als Regeln der Technik etabliert haben.

Die vorliegende 1. Auflage der EA-Pfähle ist als zusammenfassender Entwurf zu verstehen, auch wenn Teile daraus bereits früher der Fachöffentlichkeit zur Kenntnis gegeben wurden. Die 1. Auflage hat bezüglich der Pfahlberechnung und -bemessung die DIN 1054:2005-01 zur Grundlage.

Der Anwender wird bezüglich der Verbindlichkeit der vorliegenden Empfehlungen auf die Benutzerhinweise der EAB (2006), 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, verwiesen, die hier in vergleichbarer Weise anzuwenden sind.

Der Arbeitskreis AK 2.1 „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) bittet für die Weiterentwicklung der vorliegenden Empfehlungen um Hinweise und Zuschriften an den Obmann des AK 2.1 (Adresse siehe Seite IV).

Inhaltsverzeichnis

Mitglieder des Arbeitskreises AK 2.1 „Pfähle“ V

Vorwort und Benutzerhinweise VII

1 Einleitung und Anwendungsgrundlagen der Empfehlungen 1

1.1 Nationale und internationale Vorschriften für Pfähle 1

1.2 Nachweisformen und Grenzzustände nach dem Teilsicherheitskonzept 2

1.2.1 Neue Normengeneration und Übergangsregelungen 2

1.2.2 Beanspruchungen und Widerstände 3

1.2.3 Grenzzustände 4

1.2.4 Anwendung der EA-Pfähle im Zusammenhang mit DIN EN 1997-1 6

1.3 Entwurfsverfasser, Fachplaner und Sachverständiger für Geotechnik 8

2 Pfahlssysteme 9

2.1 Übersicht und Zuordnung zu den Pfahlssystemen 9

2.2 Pfahlherstellung 11

2.2.1 Bohrpfähle 11

2.2.1.1 Bohrpfähle mit verrohrter Bohrung 11

2.2.1.2 Unverrohrt hergestellte Bohrpfähle 12

2.2.1.3 Unverrohrt hergestellte Bohrpfähle mit suspensionsgestützter Bohrlochwandung 12

2.2.1.4 Unverrohrt hergestellte Bohrpfähle mit durchgehender Bohrschnecke 13

2.2.1.5 Unverrohrt hergestellte Bohrpfähle mit teilweise durchgehender Bohrschnecke 14

2.2.1.6 Bohrpfähle mit Fußaufweitungen 14

2.2.1.7 Schlitzwandelemente/Barette 14

2.2.2 Fertigrammpfähle 15

2.2.2.1 Allgemeines 15

2.2.2.2 Fertigrammpfähle aus Beton 15

2.2.2.3 Fertigrammpfähle aus Stahl 16

2.2.2.4 Fertigrammpfähle aus Holz 16

2.2.3 Ortbetonrammpfähle 16

2.2.3.1 Ortbetonrammpfahl mit Innenrohrummung (Frankipfahl) 16

2.2.3.2 Ortbetonrammpfahl mit Kopfrummung (Simplexfahl) 17

2.2.4 Schraubpfähle (Vollverdrängungsbohrpfähle) 18

2.2.4.1 Allgemeines 18

2.2.4.2	Atlaspfahl	18
2.2.4.3	Fundexpfahl	19
2.2.5	Verpresste Verdrängungspfähle	20
2.2.5.1	Verpressmörtelpfähle (VM-Pfähle)	20
2.2.5.2	Rüttelinjektionspfähle (RI-Pfähle)	20
2.2.6	Mikropfähle	21
2.2.7	Rohrverpresspfähle	22
2.3	Pfahlähnliche Elemente	23
3	Grundsätze zu Entwurf und Berechnung von Pfahlgründungen	25
3.1	Pfahlgründungssysteme	25
3.1.1	Einzelpfahllösungen	25
3.1.2	Pfahlroste	26
3.1.3	Pfahlgruppen	27
3.1.4	Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP)	28
3.2	Baugrunderkundung bei Pfahlgründungen	30
3.3	Zuordnung der Böden bei Pfahlgründungen	37
3.4	Pfahlkonstruktionen zur Baugrubenherstellung und Sicherung von Geländesprüngen	38
3.4.1	Allgemeines	38
3.4.2	Anordnung der Pfähle	38
3.4.3	Pfahlssysteme und spezielle Ausführungsanforderungen	39
3.4.4	Berechnung und Bemessung	40
3.4.5	Bewehrung	40
3.4.6	Beton	40
3.4.7	Wasserdichtigkeit von Bohrpfahlwänden	40
3.5	Pfahlkonstruktionen zur Böschungssicherung	41
4	Einwirkungen und Beanspruchungen	43
4.1	Allgemeines	43
4.2	Pfahlgründungslasten aus dem Bauwerk	44
4.3	Herstellungsbedingte Beanspruchungen von Verdrängungspfählen	44
4.4	Negative Mantelreibung	44
4.4.1	Allgemeines	44
4.4.2	Ermittlung der charakteristischen Einwirkung aus negativer Mantelreibung	45
4.4.3	Negative Mantelreibung infolge Hebung des Bodens in der Pfahlumgebung	49
4.4.4	Ermittlung der Bemessungsgrößen der Einwirkungen bzw. Beanspruchungen und Nachweisführung	50
4.5	Seitendruck	51
4.5.1	Allgemeines	51

4.5.2	Notwendigkeit einer Pfahlbemessung auf Seitendruck	52
4.5.3	Ermittlung der charakteristischen Einwirkung aus Fließdruck	54
4.5.4	Ermittlung der charakteristischen Einwirkung aus dem resultierenden Erddruck	55
4.5.5	Entfernungseinfluss und Mindestmomentenbeanspruchung	57
4.5.6	Beanspruchungen der Pfähle	58
4.6	Zusatzbeanspruchung von Schrägpfählen aus Baugrundverformung	59
4.7	Gründungspfähle in Böschungen und an Geländesprüngen	59
4.7.1	Gründungspfähle in Böschungen	59
4.7.2	Gründungspfähle an Geländesprüngen	61
5	Tragverhalten und Widerstände von Einzelpfählen	63
5.1	Allgemeines	63
5.2	Ermittlung von Pfahlwiderständen aus statischen Pfahlprobelastungen	64
5.2.1	Grundlagen	64
5.2.2	Charakteristische Pfahlwiderstände im Grenzzustand der Tragfähigkeit	65
5.2.3	Charakteristische Pfahlwiderstände im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	66
5.3	Ermittlung von Pfahlwiderständen aus dynamischen Pfahlprobelastungen	66
5.4	Axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten	68
5.4.1	Anwendungsbereich der bisherigen Regelungen	68
5.4.2	Anwendungsbereich der neuen Regelungen	68
5.4.3	Anwendungsgrundlagen und Einschränkungen der Tabellenwerte	70
5.4.4	Fertigrammpfähle	72
5.4.4.1	Allgemeines	72
5.4.4.2	Erfahrungswerte von Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung von Fertigrammpfählen	75
5.4.5	Ortbetonrammpfähle	77
5.4.5.1	Allgemeines	77
5.4.5.2	Erfahrungswerte von Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung von Simplexpfählen	79
5.4.5.3	Erfahrungswerte von Pfahlfußwiderstand und Pfahlmantelreibung von Frankipfählen	81
5.4.6	Bohrpfähle	89
5.4.6.1	Allgemeines	89
5.4.6.2	Erfahrungswerte von Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung von Bohrpfählen	90
5.4.6.3	Erfahrungswerte von Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung bei Fels und felsähnlichen Böden	92

5.4.6.4	Schlitzwandelemente.....	96
5.4.6.5	Bohrpfahlwände und Schlitzwände	96
5.4.7	Teilverdrängungsbohrpfähle	97
5.4.8	Schraubpfähle.....	98
5.4.8.1	Allgemeines	98
5.4.8.2	Erfahrungswerte von Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung von Schraubpfählen.....	98
5.4.9	Verpresste Verdrängungs- und Mikropfähle.....	101
5.4.9.1	Allgemeines	101
5.4.9.2	Erfahrungswerte der Pfahlmantelreibung von Verpressmörtelpfählen (VM-Pfähle)	102
5.4.9.3	Erfahrungswerte der Pfahlmantelreibung von Rüttelinjektionspfählen (RI-Pfähle)	103
5.4.9.4	Erfahrungswerte der Pfahlmantelreibung von verpressten Mikropfählen	103
5.4.9.5	Erfahrungswerte der Pfahlmantelreibung von Rohrverpress- pfählen	104
5.4.10	Anwendungen auf Zugpfähle	105
5.5	Bohrpfähle mit Fußaufweitung	105
5.6	Weitere Verfahren nach DIN EN 1997-1	106
5.7	Pfahlwiderstände bei Mantel- und Fußverpressung.....	106
5.8	Horizontale Pfahlwiderstände	108
5.9	Pfahlwiderstände bei nichtruhenden Einwirkungen	108
5.9.1	Allgemeines	108
5.9.2	Axiale Pfahlwiderstände bei zyklischen Einwirkungen	110
5.9.3	Horizontale Pfahlwiderstände bei zyklischen Einwirkungen.....	112
5.9.4	Horizontale Pfahlwiderstände bei stoßartigen Einwirkungen	113
5.10	Innere Tragfähigkeit von Pfählen	113
5.11	Widerstand von Pfählen gegen Knickversagen in Boden- schichten mit geringer seitlicher Stützung und Knicksicherheitsnachweis	113
5.12	Numerische Berechnungen zur Tragfähigkeit von Einzel- pfählen	115
6	Stand sicherheitsnachweise	117
6.1	Allgemeines	117
6.2	Nachweis der Tragfähigkeit.....	117
6.2.1	Axial belastete Pfähle	117
6.2.2	Quer zur Pfahlachse belastete Pfähle	118
6.2.3	Materialversagen von Pfählen	120
6.3	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit.....	120
6.4	Pfahlgruppen und Pfahlroste	122
6.5	Kombinierte Pfahl-Plattengründungen.....	123

7	Berechnung von Pfahlrosten	125
7.1	Berechnungsmodelle und Verfahren	125
7.2	Nichtlineares Pfahltragverhalten in der Pfahlrostberechnung	126
8	Berechnung und Nachweise von Pfahlgruppen	127
8.1	Einwirkungen und Beanspruchungen	127
8.1.1	Druckpfahlgruppen	127
8.1.2	Zugpfahlgruppen	127
8.1.3	Quer zur Pfahlachse belastete Pfahlgruppen	129
8.2	Tragverhalten und Widerstände von Pfahlgruppen	130
8.2.1	Druckpfahlgruppen	130
8.2.1.1	Allgemeines	130
8.2.1.2	Gruppenwirkung bezogen auf die Setzungen von Bohrpfahlgruppen	130
8.2.1.3	Widerstände der (gebohrten) Gruppenpfähle	138
8.2.1.4	Verdrängungspfahlgruppen	143
8.2.1.5	Mikropfahlgruppen	144
8.2.1.6	Geschichteter Baugrund	144
8.2.2	Zugpfahlgruppen	145
8.2.3	Quer zur Pfahlachse belastete Gruppen	145
8.3	Nachweis der Tragfähigkeit	149
8.3.1	Druckpfahlgruppen	149
8.3.1.1	Äußere Tragfähigkeit	149
8.3.1.2	Materialnachweise Pfahlkopfplatte	151
8.3.2	Zugpfahlgruppen	151
8.3.2.1	Allgemeines	151
8.3.2.2	Nachweis des angehängten Bodenkörpers im Grenzzustand GZ 1A	152
8.3.2.3	Nachweis der Tragfähigkeit des einzelnen Zugpfahls im Grenzzustand GZ 1B	153
8.3.3	Materialversagen von Gruppenpfählen und Pfahlkopfkonstruktionen	153
8.4	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	154
8.4.1	Druckpfahlgruppen	154
8.4.2	Zugpfahlgruppen	155
8.4.3	Quer zur Pfahlachse belastete Pfahlgruppen	155
8.5	Genauere Nachweise bei Pfahlgruppen	155
9	Statische Pfahlprobelastungen	157
9.1	Allgemeines	157
9.2	Statische axiale Pfahlprobelastungen	157
9.2.1	Herstellung der Probepfähle	157
9.2.2	Versuchsplanung	158

9.2.2.1	Allgemeine Hinweise	158
9.2.2.2	Anzahl der Probepfähle	159
9.2.2.3	Prüflast	159
9.2.2.4	Baugrunduntersuchungen	161
9.2.2.5	Grundsätze der Instrumentierung	161
9.2.2.6	Besondere Belastungszustände	162
9.2.3	Belastungseinrichtung	162
9.2.3.1	Allgemeines	162
9.2.3.2	Widerlager	164
9.2.3.3	Pressen	165
9.2.3.4	Belastung durch einbetonierte Pressen	165
9.2.3.5	Pfahlkopf	167
9.2.4	Instrumentierung und Messverfahren	168
9.2.4.1	Setzungs- und Hebungsmessungen	168
9.2.4.2	Kraftmessung am Pfahlkopf	170
9.2.4.3	Erfassung des Spitzenwiderstandes	170
9.2.4.4	Erfassung der Pfahllängskraft und der Mantelreibung	172
9.2.4.5	Dehnungs- und Stauchungsmessungen	172
9.2.4.6	Erfassung der Pfahlquerschnittsfläche und der Verformungseigenschaften	173
9.2.4.7	Schutz der Messvorrichtungen	174
9.2.5	Versuchsdurchführung	174
9.2.5.1	Versuchszeitpunkt	174
9.2.5.2	Belastungsstufen und -geschwindigkeiten	175
9.2.5.3	Messintervalle	177
9.2.5.4	Aufzeichnungen	177
9.2.6	Auswertung	178
9.2.7	Dokumentation und Berichte	180
9.2.7.1	Allgemeines	180
9.2.7.2	Datenbericht	181
9.2.7.3	Bericht mit den Auswertungen	182
9.3	Statische Pfahlprobepbelastungen quer zur Pfalachse	182
9.3.1	Allgemeines	182
9.3.2	Grundlagen	183
9.3.3	Versuchsplanung	184
9.3.3.1	Allgemeine Grundsätze	184
9.3.3.2	Probepfähle	184
9.3.3.3	Baugrunduntersuchungen	185
9.3.4	Grundsätze der Instrumentierung	185
9.3.5	Belastungszustände	186
9.3.6	Belastungseinrichtung	187
9.3.7	Instrumentierung und Messverfahren	188
9.3.7.1	Kraftmessung am Pfahlkopf	188
9.3.7.2	Pfahlkopfschiebungs- und -verdrehungsmessungen	188

9.3.7.3	Messung der Biegelinie und der Biegemomente des Pfahlschaftes	190
9.3.7.4	Schutz der Messvorrichtungen	191
9.3.8	Versuchsdurchführung	191
9.3.8.1	Regelfall	191
9.3.8.2	Sonderfälle	192
9.3.9	Auswertung	193
9.3.9.1	Last-Verschiebungs-Linien	193
9.3.9.2	Bettungsmodul	194
9.3.10	Dokumentation und Versuchsbericht	195
9.3.10.1	Allgemeines	195
9.3.10.2	Datenbericht	195
9.3.10.3	Bericht mit den Auswertungen	196
10	Dynamische Pfahlprobelastungen	199
10.1	Ziele und Anwendungsbereich	199
10.2	Prinzip der dynamischen Probelastungen	201
10.3	Grundlagen und Entwicklungen	201
10.3.1	Theoretische Einordnung	201
10.3.2	High-Strain-Verfahren	202
10.3.3	Rapid Load Test	202
10.4	Anforderungen an die Prüfungen	203
10.4.1	Pfahlvorbereitung	203
10.4.2	Prüfzeitpunkt	204
10.4.3	Prüfvorgang	204
10.4.4	Messgeräte	206
10.5	Weitere Hinweise für die Vorbereitung und Durchführung der Prüfung	207
10.6	Auswertung der Messungen	207
10.6.1	Allgemeines	207
10.6.2	Direkte Verfahren	208
10.6.2.1	Grundlagen	208
10.6.2.2	Case-Verfahren	210
10.6.2.3	TNO-Verfahren	211
10.6.2.4	Unloading Point Methode	212
10.6.3	Erweiterte Verfahren mit vollständiger Modellbildung	213
10.6.4	Ermittlung der charakteristischen Pfahlwiderstände aus den dynamischen Messwerten	216
10.7	Prüfung der Rammgeräteeignung	217
10.8	Qualifikation der Prüfinstitute und des Personals	218
10.9	Dokumentation und Berichterstellung	218

11	Qualitätssicherung bei der Bauausführung	221
11.1	Allgemeines	221
11.2	Bohrpfähle	221
11.2.1	Grundsätze zum Bohren	221
11.2.2	Bohren im Grundwasser	222
11.2.2.1	Grundsätze	222
11.2.2.2	Durchmesser und Ziehgeschwindigkeit des Bohrwerkzeugs	223
11.2.2.3	Reinigung der Bohrlochsohle	224
11.2.3	Fußaufweitung	224
11.2.4	Einbau der Bewehrung	225
11.2.5	Betonieren	226
11.2.5.1	Betonmischung	226
11.2.5.2	Betoniervorgang	227
11.2.6	Bohrpfähle mit durchgehender Bohrschnecke	228
11.3	Verdrängungspfähle	229
11.3.1	Betonfertigpfähle – Hinweise zu Transport, Lagerung und Einbringung	229
11.3.2	Ortbetonverdrängungspfähle	230
11.3.2.1	Wasser-/Bodeneintritt ins Vortreibrohr	230
11.3.2.2	Betonieren	230
11.3.3	Verdrängungswirkung in bindigen Böden	230
12	Pfahl-Integritätsprüfungen	233
12.1	Zweck von Integritätsprüfungen	233
12.2	Dynamische Integritätsprüfungen	233
12.2.1	Ziele und Anwendungsbereich	233
12.2.2	Vorbereitung und Durchführung der Prüfung	235
12.2.3	Messungen und Messgeräte	236
12.2.4	Aus- und Bewertung der Prüfergebnisse	236
12.2.5	Beurteilungsklassen	238
12.2.6	Wellengeschwindigkeit	239
12.2.7	Dokumentation und Berichterstattung	240
12.3	Ultraschall-Integritätsprüfung	241
12.3.1	Ziel und Anwendungsbereich	241
12.3.2	Prinzip der Ultraschall-Integritätsprüfung	241
12.3.3	Durchführung der Messung	242
12.3.4	Vorbereitung und Durchführung der Prüfung	243
12.3.4.1	Auswahl der Prüfpfähle	243
12.3.4.2	Versuchsdurchführung	245
12.3.5	Versuchsauswertung	246
12.3.5.1	Signalverläufe	246
12.3.5.2	Signalanalyse	247
12.3.5.3	Pfahlbewertung	249
12.3.6	Dokumentation und Berichterstellung	249

12.4	Pfahlprüfungen durch Kernbohrungen.....	250
12.4.1	Allgemeines	250
12.4.2	Ausführung von Kernbohrungen	251
12.4.3	Auswertung	251
12.4.3.1	Allgemeines	251
12.4.3.2	Visuelle Bewertung	252
12.4.4	Betonfestigkeit und Dauerhaftigkeit	253
12.4.5	Untersuchungen im Bohrloch	253

Anhang A

	Begriffe, Teilsicherheitsbeiwerte und Berechnungsgrundlagen.....	255
A1	Begriffe und Formelzeichen	255
A2	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen nach DIN 1054:2005-01, Tabelle 2	259
A3	Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände nach DIN 1054:2005-01, Tabelle 3	260
A4	Streuungsfaktoren ξ zur Ermittlung der charakteristischen Pfahlwiderstände aus den Messwerten von Pfahlprobelastungen nach DIN 1054:2005-01	261
A5	Verfahren zur Ermittlung des Widerstandes von Pfählen gegen Knickversagen in Bodenschichten mit geringer seitlicher Stützung.....	262

Anhang B

	Berechnungsbeispiele Pfahlwiderstände und Nachweise.....	269
B1	Ermittlung der axialen Pfahlwiderstände aus statischen Pfahlprobelastungen sowie Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	269
B2	Axiale Pfahlwiderstände aus dynamischen Probelastungen ...	273
B3	Ermittlung der axialen charakteristischen Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für einen Bohrpfahl	274
B4	Ermittlung der axialen charakteristischen Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für einen Fertigrammpfahl	277
B5	Ermittlung der axialen charakteristischen Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für einen Fundexpfahl.....	281
B6	Grundlage der Auswertung einer statischen Pfahlprobelastung am Beispiel eines Fertigrammpfahls und Vergleich mit Erfahrungswerten nach 5.4.4.2	284
B7	Vorbemessung und Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit von Frankipfählen auf der Grundlage von Erfahrungswerten und Vergleich mit einem Probelastungsergebnis.....	288
B8	Negative Mantelreibung bei einem Verdrängungspfahl infolge Geländeaufschüttung.....	295

B9	Ermittlung der charakteristischen Beanspruchung eines quer zur Pfahlachse belasteten Pfahls und Nachweis gegen Materialversagen	300
B10	Auf Seitendruck beanspruchte Pfähle.	316
B11	Pfeilergründung auf 9 Pfählen bei homogenem und geschichtetem Baugrund – Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung von Gruppenwirkung	320
B12	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit einer Zugpfahlgruppe	329
B13	Quer zur Pfahlachse belastete Pfahlgruppen: Ermittlung der Verteilung der horizontalen Bettungsmoduln	332

Anhang C

Beispiele zur dynamischen Pfahlprobelastung und

Integritätsprüfung

C1	Auswertungsbeispiel dynamische Pfahlprobelastungen nach dem direkten Verfahren.	335
C2	Auswertungsbeispiel für dynamische Pfahlprobelastungen nach dem Erweiterten Verfahren mit vollständiger Modellbildung	337
C3	Fallbeispiele „Low-Strain“-Integritätsprüfung.	341
C4	Rammbegleitende und/oder „High-Strain“-Integritätsprüfung	345
C5	Fallbeispiel einer Ultraschallprüfung.	348

Literatur

1 Einleitung und Anwendungsgrundlagen der Empfehlungen

1.1 Nationale und internationale Vorschriften für Pfähle

(1) In Deutschland wird die Berechnung und Bemessung von Pfählen in DIN 1054:2005-01 geregelt. Zusätzlich liegt die europäische Bemessungsnorm DIN EN 1997-1 (EC 7-1) vor, die ebenfalls die Pfahlgründungen behandelt. Zur formalen und bauaufsichtlichen Anwendung dieser beiden Normen siehe 1.2. Für Stahlpfähle ist außerdem DIN EN 1993-5 zu beachten.

(2) Für die einzelnen Pfahlssysteme existieren folgende Herstellungsnormen:

DIN EN 1536: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bohrpfähle; dazu DIN Fachbericht Nr. 129

DIN EN 12 699: Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verdrängungspfähle; dazu DIN Fachbericht in Vorbereitung

DIN EN 12 794: Betonfertigteile – Gründungspfähle

DIN EN 14 199: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle); dazu DIN Fachbericht in Vorbereitung

(3) Da auch Schlitzwandelemente oftmals im Sinne von Pfahlgründungen angewendet werden, ist als Herstellungsnorm

DIN EN 1538: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Schlitzwände; dazu DIN Fachbericht in Vorbereitung,

in Verbindung mit

DIN 4126: Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden

zu beachten.

(4) Bezüglich der bisher geltenden Pfahlnormen DIN 4014, DIN 4026 und DIN 4128 siehe 1.2.1.

(5) Weiterhin werden auch für einige spezielle Themen zu Pfählen ISO Normen erarbeitet, die in Deutschland voraussichtlich aber nicht bauaufsichtlich eingeführt werden. Derzeit liegt vor

DIN EN ISO 22 477-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen – Teil 1: Pfahlprobelastungen durch statische axiale Belastungen.

1.2 Nachweisformen und Grenzzustände nach dem Teilsicherheitskonzept

1.2.1 Neue Normengeneration und Übergangsregelungen

(1) Laut Beschluss der Europäischen Kommission ist vorgesehen, die maßgeblichen nationalen Bemessungs- und Ausführungsnormen im Bauwesen durch Europäische Normen zu ersetzen. Dazu liegen zwischenzeitlich zahlreiche europäische Bemessungs- und Ausführungsnormen für den Spezialtiefbau vor.

(2) Die für die Herstellung von Pfählen maßgeblichen europäischen Ausführungsnormen sind in 1.1 aufgeführt.

(3) Die Berechnung und Bemessung von Pfahlgründungen ist europäisch in DIN EN 1997-1: „Entwurf, Bemessung und Berechnung in der Geotechnik“ (Eurocode EC 7-1) behandelt. 2005 begann eine Zweijahresfrist, innerhalb der aufgrund europäischer Vereinbarungen ein Nationaler Anhang zum Eurocode EC 7-1 zu erstellen ist. Der Nationale Anhang (NA EC 7-1) wird nationale Festlegungen zu den gemäß Eurocode EC 7-1 national festzulegenden Kenngrößen enthalten. Gleichzeitig begann eine Fünfjahresfrist, bis zu deren Ablauf der Eurocode EC 7-1 in Verbindung mit dem NA EC 7-1 national eingeführt und alle widersprechenden nationalen Regelungen außer Kraft gesetzt werden sollen. Eine bis 2007 zu erarbeitende Ergänzungsnorm DIN 1054:~2007 darf dann nur noch widerspruchsfreie Ergänzungen zum Eurocode EC 7-1 in Verbindung mit dem NA EC 7-1 enthalten.

(4) Als Übergangslösung bis zur Einführung der Eurocodes dient eine neue nationale Normengeneration nach dem Teilsicherheitskonzept für alle Gebiete des konstruktiven Ingenieurbaus. Für Pfahlgründungen sind insbesondere folgende Normen maßgebend:

DIN 1055-100:2001-03: „Grundlagen der Tragwerksplanung“

DIN 1054:2005-01: „Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“

DIN 18 800:1990-11: „Stahlbauten“

DIN 1045:2001-07: „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“

(5) Die Parallelgeltung der auf dem Globalsicherheitskonzept basierenden DIN 1054:1976-11 und der DIN 1054:2005-01 im Teilsicherheitskonzept ist von der Bauaufsicht bis Ende 2007 befristet worden. Damit wird in der Geotechnik der nationale Übergang auf das Teilsicherheitskonzept voraussichtlich bis Ende 2007 vollzogen. Die DIN 1054:2005-01 wird mit Ablauf der noch nicht abschließend festgelegten Frist für die Parallelgeltung der nationalen Norm DIN 1054:2005-01 und der europäischen Norm Eurocode EC 7-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang frühestens Ende 2009 zurückgezogen.

(6) Solange noch nicht alle einschlägigen Technischen Baubestimmungen, Normen und Empfehlungen auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt sind, gelten die Übergangsregelungen in DIN 1054:2005-01, Anhänge F und G.

1.2.2 Beanspruchungen und Widerstände

Anmerkung: Nachfolgende Absätze sind in Anlehnung an [22] formuliert.

(1) Das ursprüngliche Teilsicherheitskonzept ging aus von der Wahrscheinlichkeitstheorie zur Festlegung der einzuhaltenden Sicherheiten auf probabilistischer Grundlage. Demgegenüber folgt die neue Normengeneration einer pragmatischen Aufspaltung der bisher gebräuchlichen Globalsicherheiten in Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen bzw. Beanspruchungen und Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände.

(2) Grundlage für Standsicherheitsberechnungen sind die charakteristischen Werte für Einwirkungen und Widerstände. Der charakteristische Wert, gekennzeichnet durch den Index „k“, ist ein Wert, von dem angenommen wird, dass er mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit im Bezugszeitraum unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Bauwerkes oder der entsprechenden Bemessungssituation nicht über- oder unterschritten wird. In der Regel werden charakteristische Werte aufgrund von Versuchen, Messungen, Rechnungen oder Erfahrungen festgelegt.

(3) Wenn die „innere“ oder „äußere“ Tragfähigkeit von Pfählen nachgewiesen werden muss, dann werden die Beanspruchungen am Pfahlkopf oder in Schnitten benötigt:

- als Schnittgrößen, z. B. Normalkraft, Querkraft, Biegemoment,
- als Spannungen, z. B. Druck-, Zug-, Biegespannung, Schub- oder Vergleichsspannung.

Darüber hinaus können weitere Auswirkungen von Einwirkungen auftreten:

- als dynamische oder zyklische Beanspruchung,
- als Veränderung am Bauteil, z. B. Dehnung, Verformung oder Rissbreite,
- als Lageveränderung der Einzelpfähle oder der Pfahlgruppe, z. B. Verschiebung, Setzung, Verdrehung.

(4) Bei der Bemessung von Einzelteilen sind der Querschnitt und der innere Widerstand des Materials maßgebend. Dafür sind die einzelnen Bauartnormen zuständig.

(5) Die charakteristischen Werte der Beanspruchungen werden mit Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert, die charakteristischen Werte der Widerstände durch Teilsicherheitsbeiwerte dividiert. Die so erhaltenen Größen werden als Bemessungswerte der Beanspruchungen bzw. der Widerstände bezeichnet und durch den Index „d“ gekennzeichnet. Beim Nachweis der Standsicherheit werden unterschiedliche Grenzzustände unterschieden, siehe auch 1.2.3, 1.2.4, 3.1.1 (4) und (6).

1.2.3 Grenzzustände

Anmerkung: Der nachfolgende Text ist aus [22] entnommen.

(1) Der Begriff „Grenzzustand“ wird in zwei verschiedenen Bedeutungen verwendet:

- a) Als „Grenzzustand des plastischen Fließens“ wird in der Bodenmechanik der Zustand im Boden bezeichnet, in dem in einer ganzen Bodenmasse oder zumindest im Bereich einer Bruchfuge die Verschiebungen der einzelnen Bodenteilchen gegeneinander so groß sind, dass die mögliche Scherfestigkeit ihren Größtwert erreicht, der auch bei einer weiteren Bewegung nicht mehr größer, gegebenenfalls aber kleiner werden kann. Der Grenzzustand des plastischen Fließens kennzeichnet den aktiven Erddruck, den Erdwiderstand, den Grundbruch, das „äußere“ Pfahlversagen sowie den Böschungs- und Geländebruch.
- b) Ein zweiter Grenzzustand im Sinne des neuen Sicherheitskonzeptes ist ein Zustand des Tragwerkes, bei dessen Überschreitung die der Tragwerksplanung zugrunde gelegten Anforderungen nicht mehr erfüllt sind.

(2) Im Sinne des neuen Teilsicherheitskonzeptes werden folgende Grenzzustände unterschieden:

- a) Der Grenzzustand der Tragfähigkeit ist ein Zustand des Tragwerkes, dessen Überschreitung unmittelbar zu einem rechnerischen Einsturz oder einer anderen Form des Versagens führt. Er wird in DIN 1054 als Grenzzustand GZ 1 bezeichnet. Dabei werden beim Grenzzustand GZ 1 drei Fälle unterschieden, siehe (3), (4) und (5).
- b) Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist ein Zustand des Tragwerkes, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind. Er wird in DIN 1054 als Grenzzustand GZ 2 bezeichnet.

(3) Der Grenzzustand GZ 1A beschreibt den Verlust der Lagesicherheit. Dazu gehören:

- a) der Nachweis der Sicherheit gegen Umkippen,
- b) der Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen oder Abheben, z. B. bei einer Zugpfahlgruppe,
- c) der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch.

Beim Grenzzustand GZ 1A gibt es nur Einwirkungen, keine Widerstände.

Maßgebend ist die Grenzzustandsbedingung

$$F_d = F_k \cdot \gamma_{dst} \leq G_k \cdot \gamma_{stb} = G_d \quad (1.1)$$

d. h. die destabilisierenden Einwirkungen F_k multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{dst} \geq 1,0$ dürfen höchstens so groß werden wie die stabilisierende Einwirkung G_k multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{stb} < 1,0$.

(4) Der Grenzzustand GZ 1B beschreibt das Versagen von Bauwerken und Bauteilen bzw. das Versagen des Baugrundes. Dazu gehören:

- a) der Nachweis der Tragfähigkeit von Bauwerken und von Bauteilen, die durch den Baugrund belastet bzw. durch den Baugrund gestützt werden,
- b) der Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Baugrundes, z. B. in Form von Erdwiderstand, Grundbruchwiderstand, Pfahlwiderstand oder Gleitwiderstand, nicht überschritten wird.

Dabei wird der Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Baugrundes nicht überschritten wird, genau so geführt wie bei jedem anderen Baumaterial. Maßgebend ist immer die Grenzzustandsbedingung

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \leq R_k / \gamma_R = R_d \quad (1.2)$$

d. h. die charakteristische Schnittgröße E_k , multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F für Einwirkungen bzw. Beanspruchungen, darf höchstens so groß werden wie der charakteristische Widerstand R_k dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_R .

(5) Der Grenzzustand GZ 1C ist eine Besonderheit des Erd- und Grundbaus. Er beschreibt den Verlust der Gesamtstandsicherheit. Dazu gehören:

- a) der Nachweis der Standsicherheit gegen Böschungsbruch,
- b) der Nachweis der Sicherheit gegen Geländebruch.

Maßgebend ist immer die Grenzzustandsbedingung

$$E_d \leq R_d \quad (1.3)$$

d. h. der Bemessungswert E_d der Beanspruchungen darf höchstens so groß werden wie der Bemessungswert R_d des Widerstandes. Hierbei werden die geotechnischen Einwirkungen und Widerstände mit den Bemessungswerten

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi \quad \text{und} \quad c'_d = c'_k / \gamma_c \quad \text{bzw.} \quad (1.4a)$$

$$\tan \varphi_{u,d} = \tan \varphi_{u,k} / \gamma_\varphi \quad \text{und} \quad c_{u,d} = c_{u,k} / \gamma_c \quad (1.4b)$$

der Scherfestigkeiten ermittelt, d. h. die Reibung $\tan \varphi$ und die Kohäsion c werden von vornherein mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_φ und γ_c abgemindert.

(6) Der Grenzzustand GZ 2 beschreibt den Zustand des Bauwerkes oder Bauteiles, bei dem die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind, ohne dass seine Tragfähigkeit verloren geht. Er liegt dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zugrunde, d. h. dass die zu erwartenden Verschiebungen und Verformungen mit dem Zweck des Bauwerkes vereinbar sind.

1.2.4 Anwendung der EA-Pfähle im Zusammenhang mit DIN EN 1997-1

Anmerkung: Der nachfolgende Text ist teilweise aus [22] entnommen bzw. in Anlehnung daran formuliert.

(1) Die vorliegende Fassung der EA-Pfähle beruht auf den Festlegungen der DIN 1054:2005-01. Diese wiederum entstand in enger Abstimmung mit DIN EN 1997-1, Eurocode EC 7-1. Die DIN 1054 ist nicht in allen Einzelheiten identisch mit Eurocode EC 7-1, widerspricht ihm aber auch nicht. Beim Übergang auf den Eurocode EC 7-1/NA EC 7-1, siehe 1.2.1, wird die DIN 1054:2005-01 durch die Ergänzungsnorm DIN 1054:~2007 ersetzt. Die damit verbundenen Folgen für die Anwendung der vorliegenden Fassung der Empfehlung werden nachfolgend, soweit in der Vorschau möglich, dargestellt.

(2) Eine maßgeblich andere Festlegung in Eurocode EC 7-1 gegenüber DIN 1054:2005-01 sind andere Teilsicherheitsbeiwerte γ_p (niedriger) und Streuungsfaktoren ξ (höher). Es ändern sich die Werte und Vorgehensweisen nach Anhang A3 und A4 dieser Empfehlung. In der Summe ergeben sich aber aus γ_p und ξ vergleichbare Größenordnungen auf der widerstehenden Seite wie nach DIN 1054:2005-01.

(3) Im Hinblick auf die Nachweise der Sicherheit im Grenzzustand GZ 1B nach 1.2.3 bietet der Eurocode EC 7-1 drei Möglichkeiten an. Die DIN 1054:2005-01 stützt sich auf das Nachweisverfahren 2 nach Eurocode EC 7-1 in der Form, dass die Teilsicherheitsbeiwerte auf die Beanspruchungen und auf die Widerstände angewendet werden. Zur Unterscheidung zu der ebenfalls zugelassenen Variante, bei der die Teilsicherheitsbeiwerte nicht auf die Beanspruchungen, sondern auf die Einwirkungen angewendet werden, wird dieses Verfahren im Kommentar zu Eurocode EC 7-1 als Nachweisverfahren 2* bezeichnet. Im Übrigen nutzt die DIN 1054 einige Freiräume, die nicht besonders geregelt sind, z. B. in Form der Lastfälle LF 1 bis 3.

(4) Der Nationale Anhang und DIN 1054:~2007 ist ein formales Bindeglied zwischen dem Eurocode EC 7-1 und dem nationalen Normenwerk. In diesem Nationalen Anhang wird angegeben, welches der zur Auswahl gestellten Nachweisverfahren und welche Teilsicherheitsbeiwerte im nationalen Bereich maßgebend sind. Weiterhin darf angegeben werden, welche nationalen Regelwerke ergänzend anzuwenden sind. Die ergänzenden nationalen Regelungen dürfen dem Eurocode EC 7-1 nicht widersprechen. Darüber hinaus soll der Nationale Anhang und DIN 1054:~2007 keine Angaben wiederholen, die bereits im Eurocode EC 7-1 enthalten sind.

(5) Eurocode EC 7-1 definiert in der maßgebenden Fassung anstelle der Grenzzustände GZ 1A, GZ 1B und GZ 1C nach DIN 1054:2005-01 folgende Grenzzustände:

- a) EQU: Gleichgewichtsverlust des als starrer Körper angesehenen Tragwerkes oder des Baugrundes. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „equilibrium“.
- b) STR: Inneres Versagen oder sehr große Verformungen des Tragwerkes oder seiner Bauteile, wobei die Festigkeit der Baustoffe für den Widerstand entscheidend ist. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „structure failure“.
- c) GEO: Versagen oder sehr große Verformung des Tragwerkes oder des Baugrundes, wobei die Festigkeit des Bodens oder des Gesteins für den Widerstand entscheidend ist. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „geotechnic failure“.
- d) UPL: Gleichgewichtsverlust des Bauwerkes oder Baugrundes infolge von Auftrieb oder Wasserdruck. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „uplift“.
- e) HYD: Hydraulischer Grundbruch, innere Erosion oder „Piping“ im Boden, verursacht durch Strömungsgradienten. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „hydraulic failure“.

(6) Für die Übertragung des Grenzzustandes GZ 1B der DIN 1054:2005-01 in die Terminologie des Eurocodes EC 7-1 muss der Grenzzustand GEO aufgeteilt werden in GEO-2 und GEO-3:

- a) GEO-2: Versagen oder sehr große Verformung des Baugrundes im Zusammenhang mit der Ermittlung der Schnittgrößen und der Abmessungen, d. h. bei der Inanspruchnahme der Scherfestigkeit beim Erdwiderstand, beim Gleitwiderstand, beim Grundbruchwiderstand und beim Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge sowie bei Spitzenwiderstand und Mantelreibung bei Pfahlgründungen. Der Grenzzustand GEO-2 beinhaltet das Nachweisverfahren 2*, siehe (3), nach Eurocode EC 7-1.
- b) GEO-3: Versagen oder sehr große Verformung des Baugrundes im Zusammenhang mit dem Nachweis der Gesamtstandsicherheit, d. h. bei der Inanspruchnahme der Scherfestigkeit beim Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch und Geländebruch sowie in der Regel beim Nachweis der Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen, auch unter Berücksichtigung konstruktiver Elemente, z. B. Anker, Pfähle. Der Grenzzustand GEO-3 beinhaltet das Nachweisverfahren 3 nach Eurocode EC 7-1.

(7) Die bisherigen Grenzzustände werden wie folgt ersetzt:

- a) Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1A nach DIN 1054:2005-01 entsprechen ohne Einschränkung die Grenzzustände EQU, UPL und HYD nach Eurocode EC 7-1.
- b) Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1B nach DIN 1054:2005-01 entspricht ohne Einschränkung der Grenzzustand STR nach Eurocode EC 7-1. Hinzu kommt der Grenzzustand GEO-2 nach Eurocode EC 7-1 im Zusammenhang mit der „äußeren“ Bemessung der Gründungselemente, z. B. „äußere“ Pfahltragfähigkeit.
- c) Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1C nach DIN 1054:2005-01 entspricht der Grenzzustand GEO-3 nach Eurocode EC 7-1 im Zusammenhang mit dem Nachweis der Gesamtstandsicherheit, d. h. bei Inanspruchnahme der

Scherfestigkeit beim Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch und Geländebruch.

Die Nachweise der Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen sind in jedem Fall dem Grenzzustand GEO zuzuordnen. Dabei können sie je nach konstruktiver Ausbildung und Funktion, siehe DIN 1054:2005-01, nach den Angaben des bisherigen Grenzzustandes GZ 1B bzw. des Grenzzustandes GEO-2 oder nach den Angaben des bisherigen Grenzzustandes GZ 1C bzw. des Grenzzustandes GEO-3 behandelt werden.

1.3 Entwurfsverfasser, Fachplaner und Sachverständiger für Geotechnik

In der EA-Pfähle werden die Begriffe „Entwurfsverfasser“, „Fachplaner“ und „Sachverständiger für Geotechnik“ verwendet. Die Begriffe sind dabei im Sinne der DIN 1054:2005-01 bzw. DIN 4020 zu verstehen.

2 Pfahlsysteme

2.1 Übersicht und Zuordnung zu den Pfahlsystemen

(1) Die in ihrer Bauart und ihren Anwendungsmöglichkeiten sehr unterschiedlichen Pfahlsysteme können entsprechend der Herstellungs-Normen, in denen sie beschrieben sind, in drei Gruppen zusammengefasst werden. Dies sind:

a) Bohrpfähle nach DIN EN 1536:

Bohrpfähle sind dadurch gekennzeichnet, dass bei ihrer Herstellung Boden gefördert wird. Das geförderte Bodenvolumen kann dem gesamten oder nur einem Teil des Pfahlvolumens entsprechen.

Innerhalb der Gruppe der Bohrpfähle werden folgende Pfahlarten unterschieden:

- Verrohrt und unverrohrt hergestellte Pfähle.
- Unverrohrt mit Stützflüssigkeit hergestellte Pfähle. Dazu zählen auch Schlitzwandelemente/Barette.
- Unverrohrt mit durchgehender Bohrschnecke hergestellte Pfähle, wobei Bohrschnecken mit kleinem Seelenrohr und Bohrschnecken mit großem Seelenrohr zu unterscheiden sind. Bei Verwendung von Bohrschnecken mit kleinem Seelenrohr wird der Bewehrungskorb nach Fertigstellung des Pfahles in den Frischbeton eingebracht, beim Einsatz von Schnecken mit großem Seelenrohr wird der Bewehrungskorb im Schutze des Seelenrohres vor dem Betonieren eingebaut. Letztere werden auch als „Teilverdrängungsbohrpfähle“ bezeichnet, weil bei der Herstellung nur ein Teil des Pfahlvolumens an Boden gefördert und der übrige Teil verdrängt wird. Zur Untergruppe der Teilverdrängungsbohrpfähle gehören auch solche Systeme, deren Bohrrohr nur auf einer Teillänge im Fußbereich eine durchgehende Schnecke aufweist, da beim Einbohren in den tragfähigen Boden dieser zumindest teilweise in darüber liegende Schichten umgelagert und beim Herausziehen der Bohrschnecke das auf den Schneckengängen liegende Bodenmaterial auch bis zur Geländeoberfläche gefördert wird.

Anmerkung: Aufgrund der Vielzahl unterschiedlich ausgebildeter Bohrschnecken ist eine scharfe Trennung zwischen der Zuordnung zur DIN EN 1536 oder DIN EN 12 699 nicht immer möglich, der Übergang ist fließend.

b) Verdrängungspfähle nach DIN EN 12 699:

Verdrängungspfähle sind dadurch gekennzeichnet, dass bei ihrer Herstellung der Boden vollständig verdrängt wird, so dass es zu keiner relevanten Bodenförderung kommt.

Der Pfahldurchmesser bzw. die entsprechende Querschnittsabmessung muss > 150 mm sein.

Innerhalb der Gruppe der Verdrängungspfähle werden unterschieden:

- Fertigrammpfähle aus Stahlbeton, Spannbeton, Stahl und Holz,
- Ortbetonrammpfähle,

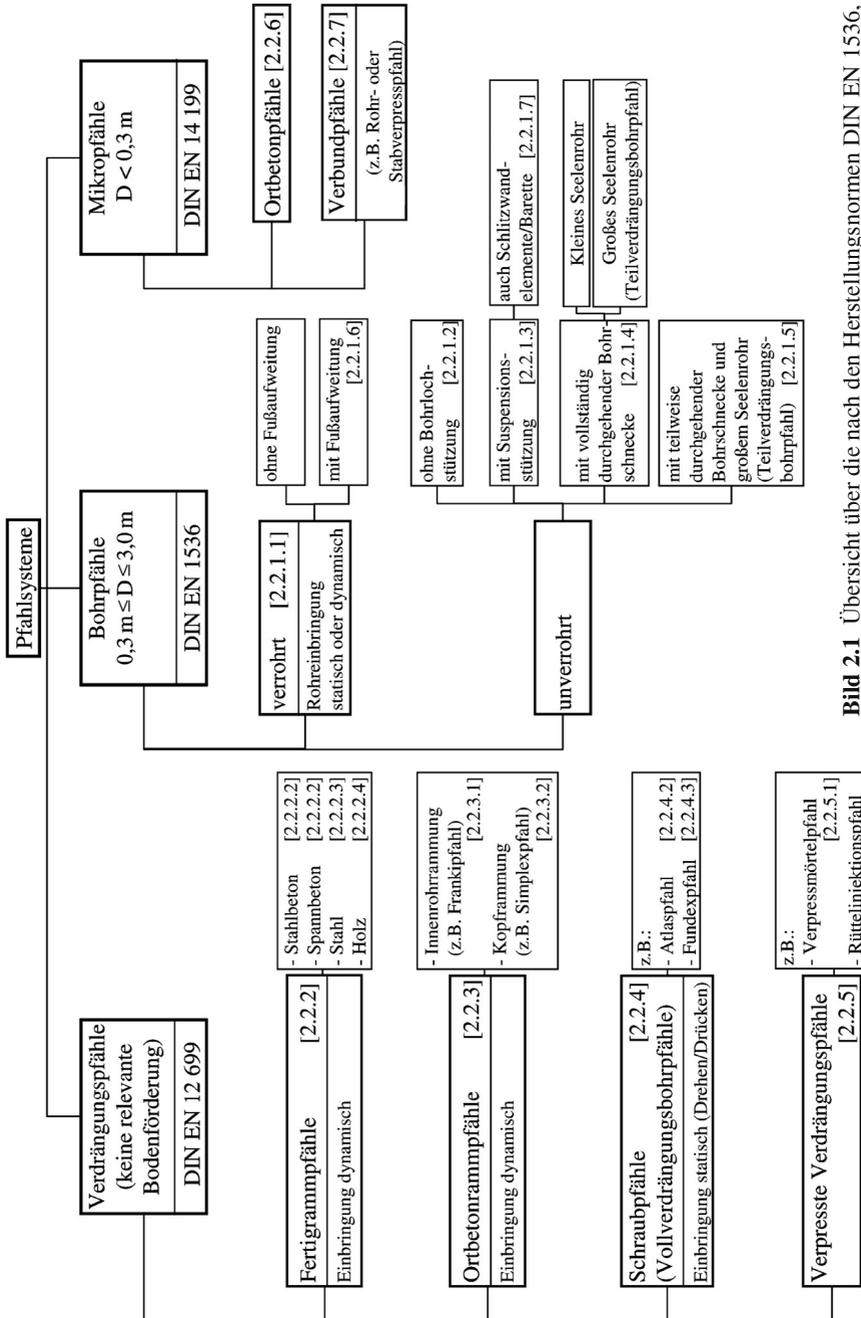


Bild 2.1 Übersicht über die nach den Herstellungsnormen DIN EN 1536, DIN EN 12 699 und DIN EN 14 199 genormten Pfahlsysteme