

**7. Auflage**

---

# **GRUNDBAU-TASCHENBUCH**

**Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke**

---

**Karl Josef Witt (Hrsg.)**



**7. Auflage**

# **GRUNDBAU-TASCHENBUCH**

**Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke**

**Karl Josef Witt (Hrsg.)**



**7. Auflage**

---

# **GRUNDBAU-TASCHENBUCH**

**Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke**

---

**Karl Josef Witt (Hrsg.)**

Herausgeber und Schriftleiter:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt  
Bauhaus-Universität Weimar  
Professur Grundbau  
Coudraystraße 11 C  
99421 Weimar

Umschlagbild:

Entkernung und Nachgründung des Kaispeichers A beim Bau der Elbphilharmonie,  
GKT Spezialtiefbau GmbH, Hamburg; © www.scymanska.com

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.

© 2009 Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, 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.

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: Sonja Frank, Berlin  
Satz: Dörr + Schiller GmbH, Stuttgart  
Druck und Bindung: Scheel Print-Medien GmbH, Waiblingen-Hohenacker

Printed in Germany

ISBN 978-3-433-01846-0

## Vorwort

Es gibt wenige Fachbücher auf dem Gebiet des Bauingenieurwesens, die über ein halbes Jahrhundert hinweg eine so konsequente Entwicklung und eine so weite Verbreitung gefunden haben, wie das Grundbau-Taschenbuch, das nunmehr in der 7. Auflage in drei Bänden vollständig vorliegt. Das in der ersten Auflage 1955 von Dipl.-Ing. H. Schröder formulierte Ziel, das Fachwissen auf dem Gebiet des Erd- und Grundbaus aus vielfältigen Veröffentlichungen in einem umfassenden Kompendium für die Ingenieurpraxis zusammenzutragen, wurde von Prof. Ulrich Smolczyk als Herausgeber weitergeführt und mit außerordentlich großem Erfolg bis zur 6. Auflage umgesetzt. Aus dem ursprünglich handlichen zweibändigen Taschenbuch wurde ab der 5. Auflage ein dreibändiges „Akten-Taschenbuch“, was auch den Wissenszuwachs und die Bedeutung der Geotechnik im Baugeschehen widerspiegelt. Es ist mir als Herausgeber eine besondere Ehre, aber auch eine Verpflichtung, dieses Standardwerk der Geotechnik in seiner Aktualität weiterzuentwickeln, neue Erkenntnisse, Bauverfahren und Berechnungsmethoden mit den Erfahrungen der Praxis zu vereinen.

Teil 3 dieser Auflage des Grundbau-Taschenbuchs behandelt auch in dieser 7. Auflage die Gründungen und die geotechnischen Bauwerke mit den zugehörigen Bemessungs- und Nachweismethoden. Auch in diesem Band wurden die meisten Beiträge von neuen Autoren oder Koautoren verfasst. Die grundlegenden Kapitel der letzten Auflagen wurden vor dem Hintergrund neuer Regelwerke aktualisiert, teils auch durch neue Schwerpunkte ergänzt. Einige traditionelle Kapitel zu weniger innovativen Themen sind in dieser Auflage aus Platzgründen nicht enthalten, ohne dass deren Wert und Gültigkeit damit in Frage gestellt werden soll.

Die Hauptbeiträge *Flachgründungen*, *Pfahlgründungen*, *Spundwände*, *Pfahl-*, *Schlitz-* und *Dichtwände* und *Baugruben* wurden grundlegend überarbeitet, meist unter der Hauptverantwortung der Obmänner der entsprechenden nationalen Ausschüsse, unterstützt durch kompetente Koautoren. Die europäischen Normen wie auch die neusten nationalen Regelungen und Empfehlungen der Arbeitsausschüsse und Arbeitskreise sind dabei eingeflossen. Im Kapitel *Gründungen im offenen Wasser* wurden die Offshore-Windenergie-Anlagen mit aufgenommen. Die *Senkkästen* wurden dagegen nicht neu publiziert. Hier wird auf die früheren Auflagen des Grundbau-Taschenbuchs verwiesen. Die für die letzte Auflage neu ausgearbeiteten Kapitel *Gründung in Bergbaugebieten* sowie *Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherung* wurden durch interessante Beispiele und neue Erkenntnisse ergänzt. Ein neuer Autor legte den in seinen Grundaussagen immer noch gültigen früheren Beitrag *Maschinenfundamente* breiter an. Dieses Kapitel behandelt nun allgemein den *Erschütterungsschutz* von Bauwerken aus geotechnischer Sicht und baut auf den theoretischen Grundlagen der in Teil 1 publizierten *Bodendynamik* auf.

Alle Autoren haben mit sehr großem Engagement ihr Expertenwissen und ihre Erfahrung zusammengetragen und so zur Qualität dieses umfassenden Werkes beigetragen. Ihnen allen, wie auch dem Verlag Ernst & Sohn und der Lektorin, Frau Dipl.-Ing. R. Herrmann, gilt mein besonderer Dank. Den Lesern und Nutzern wäre ich für Anregungen zur Fortentwicklung und für Verbesserungsvorschläge dankbar.

Weimar, August 2009

Karl Josef Witt



# Inhaltsverzeichnis

## 3.1 Flachgründungen

*Ulrich Smoltczyk und Norbert Vogt*

1	Begriffe	1
2	Entwurfsgrundlagen	2
3	Einzelfundamente	4
3.1	Allgemeine Planung	4
3.2	Geotechnische Nachweise	15
3.3	Konstruktive Hinweise	48
4	Flächengründungen	50
4.1	Allgemeines	50
4.2	Vertikale Interaktion	51
4.3	Horizontale Interaktion	65
5	Membrangründungen (Tankgründungen)	66
6	Zugfundamente	66
7	Literatur, Programmhinweise, Deutsche Normen (DIN)	67
7.1	Literatur	67
7.2	Programme und Benutzerhandbücher	70
7.3	Deutsche geotechnische Normen (Stand 2009)	71

## 3.2 Pfahlgründungen

*Hans-Georg Kempfert*

1	Einleitung	73
1.1	Anwendungsbereich	73
1.2	Maßgebliche Vorschriften und Sicherheitskonzept	73
1.3	Voruntersuchungen bei Pfahlgründungen	74
1.4	Begriffe	74
2	Pfahlarten und Ausführungsformen	77
2.1	Einordnung der Pfahlssysteme	77
2.2	Verdrängungspfähle	79
2.3	Bohrpfähle	94
2.4	Mikropfähle	104
2.5	Maßnahmen zur Erhöhung der Pfahlwiderstände	114
2.6	Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle	116
3	Axiales Tragverhalten von Einzelfählen	117
3.1	Allgemeines	117
3.2	Hinweise zum Bruchwert des Spitzendrucks	121
3.3	Verfahren zur Ermittlung von Pfahlwiderständen aus der Literatur	123
3.4	Veränderung der Pfahltragfähigkeit mit der Zeit	142
3.5	Ermittlung von Pfahlwiderständen aus Probelastungen	146

3.6	Empirische Ableitung von Pfahlwiderständen und Einbindung als Erfahrungswerte in die EA-Pfähle. . . . .	147
3.7	Pfahlwiderstände bei Mantel- und Fußverpressungen . . . . .	161
3.8	Pfahlwiderstände bei Fels und felsähnlichen Böden . . . . .	164
3.9	Einfluss der Einbringart auf die Tragfähigkeit von Verdrängungspfählen. . . . .	165
4	Pfahltragverhalten quer zur Pfahlachse und infolge Momenteinwirkungen. . . . .	165
4.1	Allgemeines . . . . .	165
4.2	Bettungswiderstände bei biegeweichen Pfählen. . . . .	166
4.3	Vorgehensweise nach dem p-y-Verfahren . . . . .	169
4.4	Querwiderstände bei kurzen starren Pfählen . . . . .	170
5	Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise unter Berücksichtigung der neuen Normung . . . . .	172
5.1	Allgemeines . . . . .	172
5.2	Einwirkungen und Bemessungssituation. . . . .	172
5.3	Grenzzustandsgleichungen. . . . .	173
5.4	Bisherige nationale Regelungen und Verfahren des EC 7-1 zur Ableitung von axialen Pfahlwiderständen für Tragfähigkeitsnachweise . . . . .	173
5.5	Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten für Pfahlwiderstände aufgrund von Erfahrungswerten . . . . .	180
5.6	Ergebnisse von Vergleichsberechnungen mit national angepassten Streuungsfaktoren . . . . .	181
5.7	Bestimmung von Pfahlwiderständen nach EC 7-2 (Holländisches Verfahren). . . . .	188
5.8	Weitere Hinweise zu Nachweisen der Tragfähigkeit von Pfählen . . . . .	192
5.9	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit . . . . .	193
6	Einwirkungen auf Pfähle aus dem Baugrund . . . . .	194
6.1	Negative Mantelreibung . . . . .	194
6.2	Seitendruck . . . . .	201
6.3	Zusatzbeanspruchung von Schrägpfählen aus Baugrundverformung . . . . .	207
6.4	Gründungspfähle in Böschungen und an Geländesprüngen . . . . .	208
7	Probelastungen und Prüfungen von Pfählen . . . . .	208
7.1	Allgemeines . . . . .	208
7.2	Statische axiale Probelastungen. . . . .	209
7.3	Statische horizontale Pfahlprobelastungen (quer zur Pfahlachse). . . . .	215
7.4	Dynamische Pfahlprüfung . . . . .	219
8	Pfahlgruppen und kombinierte Pfahl-Plattengründungen . . . . .	228
8.1	Druckpfahlgruppen . . . . .	228
8.2	Zugpfahlgruppen. . . . .	237
8.3	Querwiderstände bei Pfahlgruppen . . . . .	239
8.4	Kombinierte Pfahl-Plattengründung . . . . .	240
9	Verhalten von Pfählen bei nicht ruhenden Einwirkungen. . . . .	253
9.1	Allgemeines . . . . .	253
9.2	Pfahlverhalten bei zyklisch axialen Einwirkungen . . . . .	254
9.3	Pfahltragverhalten bei dynamisch axialen Einwirkungen . . . . .	262
9.4	Pfahltragverhalten bei zyklisch horizontalen Einwirkungen. . . . .	262
9.5	Pfahltragverhalten bei stoßartig horizontalen Einwirkungen. . . . .	269
10	Literatur. . . . .	270

### 3.3 Spundwände

*Werner Richwien, Hans-Uwe Kalle, Karl-Heinz Lambertz,  
Karl Morgen und Hans-Werner Vollstedt*

1	Spundwandbauwerke	279
1.1	Allgemeines	279
1.2	Baustoffe für Spundwandbauwerke	280
2	Regelwerke zu Spundwandbauwerken	281
2.1	DIN EN 12063, Spundwandkonstruktionen	281
2.2	DIN EN 10248 und DIN EN 10249, Warmgewalzte Spundbohlen und kaltgeformte Spundbohlen	281
2.3	DIN EN 1993-5, Pfähle und Spundwände	282
2.4	Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, EAU 2004	282
2.5	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, EAB	283
2.6	Sonstige Vorschriften und Handbücher	283
3	Spundwandprofile, Stahlsorten	283
3.1	Spundwandprofile	283
3.2	Stahlsorten	286
3.3	Gütevorschriften für Spundwandstähle	287
4	Grundlagen der Spundwandnachweise	287
4.1	Sicherheitskonzept, Teilsicherheitsbeiwerte	287
4.2	Einwirkungen und Widerstände	289
4.3	Lastfälle	291
4.4	Grenzzustände	291
4.5	Geotechnische Kategorien	293
5	Berechnung von Spundwandbauwerken	293
5.1	Allgemeine Hinweise	293
5.2	Nachweis von Spundwänden nach den Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, EAU 2004	294
5.3	Sonderfälle der Spundwandberechnung	308
5.4	Bauteilnachweis „Stahlspundwand“	310
6	Nachweis der Spundwandverankerungen und der Zubehörteile	312
6.1	Allgemeines zu Ankern und Ankerpfählen, Gurtung, Bolzen- und Ankerkopfplatten	312
6.2	Nachweis der Verankerungselemente	312
6.3	Gestaltung von Ankerwänden und -platten sowie Ankeranschlüssen	321
6.4	Beispiele für Holmausbildungen aus Stahl und Stahlbeton	325
6.5	Gestaltung von Ankerpfahlanschlüssen	328
7	Empfehlungen zu Konstruktion und Bauausführung	333
7.1	Rammtiefe	333
7.2	Spundwandneigung	333
7.3	Profil und Baustoff	333
7.4	Stahlsorte	334
7.5	Hinweise zu wellenförmigen Spundwänden	334
7.6	Hinweis zu kombinierten Spundwänden	335
7.7	Gepanzerte Spundwände	336
7.8	Einbringen von Spundbohlen und Toleranzen	336
8	Ausführungsbeispiele von Uferwänden in Stahlspundwandbauweise	337
8.1	Allgemeines	337

8.2	Containerkaje Bremerhaven . . . . .	337
8.3	Containerterminal Altenwerder, Hamburg . . . . .	339
8.4	Seehafen Rostock, Pier II. . . . .	339
8.5	Hafenbecken C, Duisburg-Ruhrort . . . . .	342
8.6	Containerterminal Burchardkai, Hamburg . . . . .	342
8.7	Holz- und Fabrikenhafen, Bremen . . . . .	345
8.8	Seehafen Wismar, Liegeplätze 13 bis 15 . . . . .	346
8.9	Hafenkanal, Duisburg-Ruhrort. . . . .	346
9	Korrosion und Korrosionsschutz . . . . .	349
9.1	Allgemeines . . . . .	349
9.2	Korrosionserwartung bei Stahlspundwänden . . . . .	349
9.3	Korrosionsschutz von Stahlspundwänden. . . . .	349
10	Literatur. . . . .	352

### 3.4 Gründungen im offenen Wasser

*Jacob Gerrit de Gijt und Kerstin Lesny*

1	Allgemeines . . . . .	355
1.1	Verwendbare Planungsunterlagen . . . . .	357
1.2	Belastungsannahmen . . . . .	358
1.3	Bemessung und Herstellung. . . . .	360
2	Geräte für das Bauen auf See . . . . .	362
2.1	Wichtigste Geräte . . . . .	362
2.2	Hubinsel . . . . .	364
3	Gründungen in offener Baugrube . . . . .	365
4	Schwimmkastengründungen . . . . .	368
4.1	Vorbereiten der Sohle. . . . .	368
4.2	Bau der Schwimmkästen . . . . .	369
4.3	Schlepptransport . . . . .	372
4.4	Absenken. . . . .	375
4.5	Schwimmkästen als Ufereinfassungen . . . . .	375
4.6	Schwimmkästen für Molen und Wellenbrecher . . . . .	376
4.7	Schwimmkästen für Leuchttürme, Offshore-Plattformen und Behälter . . . . .	381
4.8	Schwimmkästen für Unterwassertunnel . . . . .	386
5	Senkkastengründungen. . . . .	393
5.1	Leuchtturm „Alte Weser“ (1960/63). . . . .	395
5.2	Leuchtturm „Großer Vogelsand“ (1973/74). . . . .	397
6	Pfahlgründungen. . . . .	399
6.1	Köhlbrand-Hochbrücke, Hamburg (1971–75) . . . . .	400
6.2	Leuchtturm Goeree, Niederlande (1971) . . . . .	401
6.3	Bohrplattform Cognac, USA (1978) . . . . .	403
6.4	Saugpfahlmethode . . . . .	404
7	Gründungen für Offshore-Windenergieanlagen . . . . .	407
7.1	Stand der Nutzung der Offshore-Windenergie in Europa und Planungsrandbedingungen . . . . .	407
7.2	Baugrunderkundungen . . . . .	412
7.3	Gründungskonzepte . . . . .	415
7.4	Kolksschutz. . . . .	421
7.5	Ausblick . . . . .	422
8	Literatur. . . . .	422

### 3.5 Baugrubensicherung

*Anton Weißenbach und Achim Hettler*

1	Konstruktive Maßnahmen zur Sicherung von Baugruben und Leitungsräumen . . . . .	427
1.1	Nicht verbaute Baugruben und Gräben . . . . .	427
1.2	Grabenverbau . . . . .	429
1.3	Spundwandverbau . . . . .	436
1.4	Trägerbohlwände . . . . .	438
1.5	Massive Verbauarten . . . . .	443
1.6	Mixed-in-Place-Wände . . . . .	446
2	Berechnungsgrundlagen . . . . .	449
2.1	Lastannahmen . . . . .	449
2.2	Erddruck bei nicht gestützten, im Boden eingespannten Baugrubenwänden . . . . .	450
2.3	Erddruck bei einmal gestützten Baugrubenwänden . . . . .	452
2.4	Erddruck bei mehrmals gestützten Baugrubenwänden . . . . .	455
2.5	Erddruck infolge von Baugeräten und Schwerlastfahrzeugen . . . . .	459
2.6	Erddruck in Rückbauzuständen . . . . .	463
2.7	Ansatz des Erdwiderstands . . . . .	464
3	Verfahren zur Ermittlung von Schnittgrößen und Einbindetiefen . . . . .	467
3.1	Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054:2005-01 . . . . .	467
3.2	Statisch bestimmte Systeme . . . . .	469
3.3	Statisch unbestimmte Systeme . . . . .	476
3.4	Bettungsmodulverfahren . . . . .	479
3.5	Berechnung mit dem Traglastverfahren . . . . .	488
3.6	Finite-Elemente-Methode . . . . .	489
4	Nachweis der Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	496
4.1	Aufnahme des Erddrucks unterhalb der Baugrubensohle bei Trägerbohlwänden . . . . .	496
4.2	Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstands . . . . .	498
4.3	Abtragung von Vertikalkräften in den Untergrund . . . . .	501
4.4	Sicherheit gegen Aufbruch der Baugrubensohle . . . . .	504
5	Untersuchung besonderer Baugrubenkonstruktionen . . . . .	506
5.1	Baugruben mit besonders großen Abmessungen . . . . .	506
5.2	Baugruben mit besonderem Grundriss . . . . .	510
5.3	Baugruben mit unregelmäßigem Querschnitt . . . . .	517
5.4	Zur Baugrubensohle abgestützte Baugrubenwände . . . . .	522
5.5	Verankerte Baugrubenwände . . . . .	524
5.6	Bewegungsarme Baugrubenwände neben Bauwerken . . . . .	529
5.7	Baugruben im Wasser . . . . .	535
5.8	Baugruben in felsartigen Böden . . . . .	546
5.9	Baugruben in weichen Böden . . . . .	549
6	Bemessung der Einzelteile . . . . .	559
6.1	Bohlen, Brusthölzer und Gurte aus Holz . . . . .	559
6.2	Bohlträger, Spundbohlen und Kanaldielen aus Stahl . . . . .	561
6.3	Gurte, Auswechslungen und Verbandstäbe aus Stahl . . . . .	563
6.4	Steifen . . . . .	564
6.5	Verbauteile aus Beton und Stahlbeton . . . . .	566
6.6	Erdanker und Zugpfähle . . . . .	567
6.7	Verbände, Anschlüsse und Verbindungsmittel . . . . .	571
7	Literatur . . . . .	571

**3.6 Pfahlwände, Schlitzwände, Dichtwände***Hans-Gerd Haugwitz und Matthias Pulsfort*

1	Pfahlwände . . . . .	579
1.1	Anwendungsbereich . . . . .	579
1.2	Vorteile . . . . .	580
1.3	Nachteile . . . . .	581
1.4	Vorschriften und Empfehlungen . . . . .	581
1.5	Zweck und Wandarten . . . . .	581
1.6	Herstellung . . . . .	584
1.7	Qualitätssicherung . . . . .	585
2	Schlitzwände . . . . .	586
2.1	Anwendungsbereich . . . . .	586
2.2	Vorteile . . . . .	587
2.3	Nachteile . . . . .	587
2.4	Vorschriften und Empfehlungen . . . . .	588
2.5	Zweck . . . . .	588
2.6	Wandarten . . . . .	588
2.7	Herstellung . . . . .	593
2.8	Baustoffe . . . . .	600
2.9	Eigenschaften . . . . .	602
2.10	Qualitätssicherung . . . . .	603
3	Mixed-in-Place-Wände . . . . .	603
3.1	Anwendungsbereich . . . . .	603
3.2	Vorteile . . . . .	605
3.3	Nachteile . . . . .	606
3.4	Vorschriften und Empfehlungen . . . . .	606
3.5	Wandarten . . . . .	606
3.6	Art des Lösens und Durchmischen des Bodens . . . . .	608
3.7	Herstellung . . . . .	613
3.8	Baustoffe . . . . .	619
3.9	Eigenschaften . . . . .	620
3.10	Qualitätssicherung . . . . .	620
4	Schmalwände . . . . .	621
4.1	Anwendungsbereich . . . . .	621
4.2	Vorteile . . . . .	622
4.3	Nachteile . . . . .	622
4.4	Vorschriften und Empfehlungen . . . . .	622
4.5	Zweck und Wandarten . . . . .	623
4.6	Herstellung der Rüttel-Schmalwand . . . . .	623
4.7	Baustoffe . . . . .	624
4.8	Eigenschaften . . . . .	624
4.9	Qualitätssicherung . . . . .	625
5	Die Flüssigkeitsstützung von Erdwänden . . . . .	625
5.1	Stützflüssigkeiten . . . . .	625
5.2	Stützkraft einer Flüssigkeit und Standsicherheitsnachweise . . . . .	626
5.3	Mechanismen der Übertragung der Flüssigkeitsdruckdifferenz auf das Korngerüst . . . . .	627
5.4	Nachweis der „inneren“ Standsicherheit . . . . .	630
5.5	Nachweis der „äußeren“ Standsicherheit . . . . .	633
5.6	Bauliche Anlagen neben suspensionsgestützten Erdwänden . . . . .	637

6	Wasserdichtigkeit von massiven Stützwänden	640
6.1	Anforderungen	640
6.2	Nachweis der Dichtigkeit	642
6.3	Ausführung und Auswertung eines Pumpversuches	642
7	Vorschriften und Empfehlungen	644
7.1	Vorschriften	644
7.2	Empfehlungen und Richtlinien	644
8	Literatur	645

### 3.7 Gründungen in Bergbaugebieten

*Dietmar Placzek*

1	Einleitung	649
2	Bodenbewegungen	651
2.1	Bodenbewegungen bei untertägigen Abbauen	651
2.2	Bodenbewegungen bei Tagebauen	656
3	Einfluss der Bewegungsvorgänge auf die Gründung der Bauwerke	657
3.1	Einfluss einer Senkung	657
3.2	Einfluss einer Schiefelage	657
3.3	Einfluss einer Krümmung	659
3.4	Einfluss einer Längenänderung	659
3.5	Einfluss der Bodenbewegungen bei tagesnahen Abbauen	660
3.6	Einfluss konzentrierter Bodenbewegungen	661
3.7	Einfluss von durch Bergbau induzierten Erschütterungen	661
4	Bauliche Maßnahmen bei Abbauen in größerer Teufe	662
4.1	Arten der Sicherung	662
4.2	Grundsätzliches zur Anordnung und Ausbildung der Bauwerke	662
4.3	Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit bei Einwirkungen des Bergbaus	663
4.4	Maßnahmen gegen Schieflagen	664
4.5	Maßnahmen gegen Krümmungen	664
4.6	Maßnahmen gegen Längungen (Zerrungen)	667
4.7	Maßnahmen gegen Kürzungen (Pressungen)	670
4.8	Maßnahmen bei konzentrierten Bodenbewegungen	672
5	Bauliche Maßnahmen bei tagesnahen Abbauen	672
5.1	Arten der Sicherung	672
5.2	Sicherung der Bauwerke	673
5.3	Stabilisierung des Untergrundes durch Einpressungen	675
6	Maßnahmen bei Tunneln	679
6.1	Allgemeines	679
6.2	Ausführungsmöglichkeiten	679
7	Maßnahmen bei vorhandener Bebauung	680
7.1	Vorbemerkung	680
7.2	Maßnahmen gegen Senkungen	680
7.3	Maßnahmen gegen überwiegend vertikale, ungleichmäßige Bodenbewegungen	681
7.4	Maßnahmen gegen überwiegend horizontale Bodenbewegungen	682
8	Folgewirkungen stillgelegten Bergbaus	684
8.1	Grubenwasserspiegelanstieg	684
8.2	Ausgasung	685
9	Pseudobergschäden	686
9.1	Vorbemerkung	686

9.2	Geländesenkungen durch Grundwasserspiegelabsenkung . . . . .	686
9.3	Geländesenkungen durch Trocknung (Schwinden) . . . . .	686
9.4	Geländesenkungen infolge chemischer und/oder biologischer Zersetzung (Schrumpfen) . . . . .	686
9.5	Geländesenkungen infolge Bewuchses (meteorologische und vegetative Ursachen) . . . . .	688
10	Literatur. . . . .	689

### 3.8 Erschütterungsschutz

*Christos Vrettos*

1	Allgemeines, Begriffsbestimmungen. . . . .	691
2	Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen . . . . .	693
2.1	Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen . . . . .	693
2.2	Einwirkung von sekundärem Luftschall auf Menschen. . . . .	695
2.3	Einwirkung von Erschütterungen auf Gebäude . . . . .	698
3	Messung von Erschütterungen. . . . .	705
4	Prognose von Erschütterungen . . . . .	707
4.1	Erschütterungen infolge von Schienenverkehr . . . . .	707
4.2	Erschütterungen infolge von Baubetrieb. . . . .	721
5	Reduktion von Erschütterungen. . . . .	728
5.1	Allgemeines . . . . .	728
5.2	Maßnahmen an der Quelle. . . . .	728
5.3	Maßnahmen auf dem Übertragungsweg im Boden . . . . .	735
5.4	Maßnahmen am Gebäude. . . . .	737
6	Literatur. . . . .	738

### 3.9 Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen

*Heinz Brandl*

1	Einleitung . . . . .	747
2	Entwurfs- und Dimensionierungsmethoden . . . . .	748
2.1	Allgemeines . . . . .	748
2.2	Konventionelle Methode . . . . .	748
2.3	Semi-empirische Methode . . . . .	749
3	Stützwände . . . . .	751
3.1	Pfahlwände . . . . .	752
3.2	Brunnenwände . . . . .	774
3.3	Schlitzwände . . . . .	780
3.4	Düsenstrahlwände . . . . .	782
3.5	Rippenwände. . . . .	784
3.6	Ankerwände („Elementwände“) . . . . .	787
3.7	Futtermauern . . . . .	795
4	Stützmauern nach dem Verbundprinzip (stützmauerartige Verbundkonstruktionen). . . . .	798
4.1	Allgemeines . . . . .	798
4.2	Raumgitter-Stützmauern. . . . .	800
4.3	In sich verankerte Mauern . . . . .	815
4.4	Bewehrte Erde. . . . .	820

4.5	Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen . . . . .	830
4.6	Stützmauern aus Gabionen . . . . .	845
4.7	Stützbauwerke aus verfestigtem oder verpacktem Boden. . . . .	847
5	Bodenvernagelungen und Bodenverdübelungen . . . . .	848
5.1	Nagelwände . . . . .	849
5.2	Injektionsvernagelungen, Injektionsverdübelungen. . . . .	856
5.3	Stabwände . . . . .	861
5.4	Dübelwände, Hangverdübelungen . . . . .	865
6	Aufgelöste Stützkonstruktionen . . . . .	882
7	Sonstige Stützkonstruktionen . . . . .	885
7.1	Sonderformen, Kombinationen . . . . .	885
7.2	Galerien . . . . .	886
7.3	Sicherung von Hangbrücken. . . . .	887
8	Begleitende Maßnahmen. . . . .	894
8.1	Bermen . . . . .	894
8.2	Entwässerungen . . . . .	895
9	Literatur . . . . .	897
 <b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>		<b>903</b>
 <b>Inserentenverzeichnis . . . . .</b>		<b>917</b>



## **Autoren-Kurzbiografien**

**Heinz Brandl**, Jahrgang 1940, studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Wien. Nach Promotion und Habilitation war er ab 1971 als Privatdozent freiberuflich tätig. 1977 reichte ihn die TU Graz an erster Stelle als Ordinarius für Grundbau, Boden- und Felsmechanik ein, 1981 wechselte er von Graz an die TU Wien als Vorstand des von K. Terzaghi gegründeten Institutes für Grundbau und Bodenmechanik. Mehrere Ehrendoktorwürden, etwa 460 wissenschaftliche Publikationen (z.T. in 18 Sprachen), nahezu 500 Fachvorträge in allen Kontinenten und etwa 4000 Ingenieurprojekte unterstreichen seine wissenschaftlichen Verdienste und die Verbindung von Forschung, Theorie und Praxis. In nationalen und internationalen Fachgremien war und ist er in leitenden Funktionen engagiert, etwa als Vice-President der ISSMGE. Seine berufliche Tätigkeit umfasst Straßen, Autobahnen, Eisenbahnen, Stützbauwerke, Rutschungen und Hangsicherungen, tiefe Einschnitte und Baugruben, Bauwerksunterfangungen, Tunnel, U-Bahnbauten, Brücken, hohe Dämme, Kraftwerke, Hochwasserschutzanlagen, Lawinen- und Murengalerien, Pipelines, Industrieanlagen, Büro-, Wohn- und Industriegebäude, Hochhäuser usw. Weitere Schwerpunkte bilden Geokunststoffe, Umwelt-Geotechnik und Geothermie.

**Jacob Gerrit de Gijt** studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Delft. Von 1975 bis 1987 bearbeitete er als geotechnischer Experte bei FUGRO planend und beratend anspruchsvolle Projekte von Gründungen auf dem Festland und im Wasser, aber auch Projekte der Hydrologie und Umweltgeotechnik. Seit 1987 betreut er als Projektingenieur bei der Rotterdam Public Works die gesamte Palette der Hafenbauprojekte wie Ufermauern, Schiffsanleger, Plattformen, Pipelines, Sanierungsmaßnahmen, Gewinnung und Verbringung von Baggergut u. a. m. Seit 2006 ist er Mitglied des technischen Managements der Hafenverwaltung Rotterdam und bringt seine umfangreiche Erfahrung an der TU Delft, Departement Hydraulic Engineering and Probabilistic Design, als Ass. Professor in den Masterstudiengängen Port Infrastructures ein. Er ist Mitglied zahlreicher nationaler und internationaler Ausschüsse wie PIANC, EAU, CUR, HTG, KIVINIRIA. Neben seinen über 70 Publikationen in Fachzeitschriften und Büchern schließt er in Kürze eine Promotion an der TU Delft ab.

**Hans-Gerd Haugwitz**, Jahrgang 1955, studierte an der technischen Hochschule Darmstadt Bauingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Bodenmechanik und Grundbau. Nach dem Studium begann er seine berufliche Laufbahn 1980 bei der Bauer Spezialtiefbau GmbH und ist dort heute noch tätig. Er war zunächst als Bauleiter bei verschiedenen Projekten im Rhein-Main-Gebiet eingesetzt und übernahm dann in den Folgejahren in mehreren Bereichen in Deutschland die jeweilige Niederlassungs- und Hauptniederlassungsleitung. Seit 2008 leitet er den für Deutschland zuständigen Bereich „Projekte“ und befasst sich dabei besonders mit großen Infrastruktur-Projekten. Er ist als Obmann des Arbeitsausschusses ATV DIN 18303 wie auch im GAEB tätig und ist Mitautor des Beck'schen VOB- und Vergaberechtskommentars VOB Teil C. Seine Hauptschwerpunkte liegen in den Komplexen tiefe Baugruben, Gründungen und Dichtwände.

**Achim Hettler**, Jahrgang 1953, leitet seit 1994 als Nachfolger von Prof. Weißenbach den Lehrstuhl für Baugrund-Grundbau an der Technischen Universität Dortmund. Er ist Mitglied in zahlreichen Normenausschüssen und Obmann des Arbeitskreises Baugruben. Forschungsschwerpunkte sind u. a. Themen zu Baugruben und Erddruckfragen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens in Karlsruhe und in Lyon promovierte und habilitierte er am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik bei Prof. Gudehus in Karlsruhe. Seitdem erwarb er über 20 Jahre praktische Erfahrung u. a. bei einem großen Baukonzern im Spezialtiefbau, bei einem überregionalen Planungsbüro in der Geotechnik und bei der Sanierung von großen Altstandorten. In den letzten Jahren war er verstärkt als Sachverständiger für Schäden im Grundbau und für Altlasten tätig. Achim Hettler ist Autor des Buches „Gründung von Hochbauten“ und Koautor des Buches „Der Bausachverständige vor Gericht“.

**Hans-Uwe Kalle**, Jahrgang 1956, leitet das Technische Büro der ArcelorMittal Commercial RPS Spundwand GmbH in Hagen. Nach Abitur und Wehrdienst folgte die Ausbildung zum Bauhandwerker des Betonbaus, an die sich dann das Studium des Konstruktiven Ingenieurbaus an der Universität Dortmund anschloss. Nach 18-jähriger Tätigkeit im technischen Büro der Hoesch Stahlspundwand und Profil GmbH und als Vertriebsleiter für die Vermarktung von Stahltiefbauprodukten folgte im Jahr 2003 der Wechsel ins technische Büro der Arcelor Spundwand Deutschland GmbH. Hans-Uwe Kalle ist sowohl Mitglied im Arbeitsausschuss Ufereinfassung EAU als auch im Arbeitskreis „Baugruben“ EAB. Neben diesen Tätigkeiten ist er Mitglied des deutschen Spiegelausschusses der DIN EN 1993-5 und der DIN EN 10248.

**Hans-Georg Kempfert**, Jahrgang 1945, ist Leiter des Fachgebietes Geotechnik an der Universität Kassel. Er ist Mitglied in mehreren nationalen und internationalen Fach- und Normenausschüssen und Obmann des Normenausschusses NA 005-05-07 Pfähle (gleichzeitig AK 2.1 „Pfähle“ der DGGT). Neben den Forschungsschwerpunkten Pfahlgründungen, weiche Böden, Bewehrung mit Geokunststoffen und Geotechnik im Verkehrswegebau betätigt er sich langjährig beratend bei zahlreichen Projekten als Partner im Ingenieurbüro Kempfert + Partner Geotechnik. Er ist Autor (mit jeweils einem Koautor) der Bücher „Excavation and Foundation in Soft Soils“ sowie „Bodenmechanik und Grundbau“ (Teil 1 und 2) sowie als Prüfsachverständiger, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger und als Sachverständiger für Geotechnik im Eisenbahnbau anerkannt.

**Karl-Heinz Lambertz**, Jahrgang 1950, studierte Bauingenieurwesen mit Vertieferrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau“ an der RWTH Aachen. Nach dem Studium war er 15 Jahre bei einer großen deutschen Baufirma tätig mit Schwerpunkt im Grund- und Wasserbau. Seit 1990 leitet er im Duisburger Hafen als Prokurist die Abteilung „Technik und Umwelt“. Er ist seit 2002 Mitglied des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ (EAU) der Hafentechnischen Gesellschaft und der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik.

**Kerstin Lesny**, Jahrgang 1968, studierte Bauingenieurwesen an der Universität Essen. Im Rahmen ihrer Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Grundbau und Bodenmechanik dieser Universität promovierte sie 2001 mit einer Arbeit über ein konsistentes Versagensmodell zum Nachweis der Standsicherheit von Flachgründungen. Seit 2002 ist sie dort als Oberingenieurin tätig und erlangte Anfang 2008 die Venia Legendi für ihre Habilitation zum Thema Gründungen für Offshore-Windenergieanlagen. In dieser Arbeit beschäftigte sie sich u. a. mit der Auslegung und Bemessung geeigneter Gründungskonzepte und der Analyse des Langzeitverhaltens. Zu ihren weiteren Forschungsschwerpunkten gehören das Verhalten von Flachgründungen unter komplexer Belastung sowie probabilistische Sicherheits- und Zuverlässigkeitsbetrachtungen. Sie ist wissenschaftliche

Leiterin des Bodenmechanischen Labors und Mitglied in verschiedenen Berufsvereinigungen und Gremien, u. a. im TC 23 der ISSMGE (Limit State Design in Geotechnical Engineering) und im ASF30 des amerikanischen Transportation Research Boards (Foundations of Bridges and Other Structures).

**Karl Morgen**, Jahrgang 1952, studierte an der Technischen Universität Karlsruhe Bauingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau. Er promovierte dort mit einer Arbeit über die nichtlineare Berechnung orthotroper Platten. Nach kurzer Tätigkeit in einem Karlsruher Ingenieurbüro wechselte er als Bauleiter zur Fa. Dyckerhoff & Widmann AG in Hamburg. In dieser Zeit arbeitete er auf einer Taktstiegebrückenbaustelle und leitete anschließend die Baustelle für eine Kaianlage. Es folgte eine Tätigkeit als Planungsingenieur bei Lockwood Greene Architects and Engineers in New York. Seit 1988 ist er Geschäftsführer und Gesellschafter der WTM ENGINEERS GmbH (vormals Windels Timm Morgen) und verantwortlich für die zahlreichen Planungsaufgaben dieses Ingenieurbüros. Er ist als Prüflingenieur für Bautechnik und als Prüflingenieur beim Eisenbahnbundesamt anerkannt. Dr. Morgen arbeitet aktiv in diversen Fachgremien und Normenausschüssen mit, u. a. im DAFStb – Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, NABau – Normenausschuss Bauwesen, Pfahlausschuss, in der STUVA – Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. und ist Mitglied des Fachausschusses Ufereinfassungen der HTG – Hafentechnische Gesellschaft e. V.

**Dietmar Placzek**, Jahrgang 1951, studierte Konstruktiven Ingenieurbau an der Ruhr-Universität Bochum. Nach kurzer Tätigkeit im ELE Erdbaulaboratorium Essen promovierte er am Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der Universität Essen mit einer Arbeit über das Schwindverhalten bindiger Böden. Danach wechselte er ins ELE zurück, war hier in unterschiedlichsten Funktionen tätig und ist dort seit 1994 Geschäftsführer und Gesellschafter. Er ist seit vielen Jahren u. a. öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger z. B. für Bergbauliche Einwirkungen auf die Tagesoberfläche, staatlich anerkannter Sachverständiger gemäß Landesbauordnung und seit 2000 Honorarprofessor an der Universität Duisburg-Essen. Seine Tätigkeitsschwerpunkte sind Erd-, Grund- und Felsbau, Spezialtiefbau, Tunnelbau und Bergbau. Er gehört verschiedenen Ausschüssen und Arbeitskreisen technisch wissenschaftlicher Gesellschaften und der Ingenieurkammern an und ist daneben wissenschaftlicher Beirat für die Zeitschrift „Marktscheidewesen“.

**Matthias Pulsfort**, Jahrgang 1955, studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Berlin mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau. Anschließend promovierte er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bergischen Universität Wuppertal bei Prof. Walz mit einer Arbeit zur Standsicherheit von suspensionsgestützten Schlitzten neben Einzelfundamenten. Als Beratender Ingenieur war er zunächst in einem Ingenieurbüro tätig, anschließend als geschäftsführender Gesellschafter der Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, mit der er inzwischen über 20 Jahre lang überregional und international herausragende Projekte bearbeitete. An die Bergische Universität Wuppertal wurde er für das Fachgebiet Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik berufen. Seit 2004 leitet er dort das zusammengefasste Lehr- und Forschungsgebiet Geotechnik mit dem angeschlossenen Erdbaulaboratorium Wuppertal. Seine Forschungsschwerpunkte sind räumlicher Erddruck, tiefe Baugruben, Schlitzwand- und Dichtwandtechnologie, Rohrvortriebstechnik sowie Spezialgebiete des Tunnelbaus.

**Werner Richwien**, Jahrgang 1944, leitet seit 1994 den Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der Universität Duisburg-Essen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens mit Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau an der Technischen Hochschule Hannover folgte eine kurze Tätigkeit im Stahlbau, bevor er als wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Lackner an die Technische Hochschule Hannover zurückkehrte. Aus verschiedenen Forschungsvorhaben zu bodenmechanischen Fragen im See- und Hafengebäude entstand eine Promotion im Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik der Universität Hannover und schließlich die Habilitation mit Erlangung der Lehrbefugnis für Grundbau und Bodenmechanik. In seiner wissenschaftlichen Arbeit beschäftigte sich Universitätsprofessor Richwien mit dem Spannungs-Verformungs-Verhalten von Böden bei nicht monotonen Beanspruchungen, wie sie im See- und Hafengebäude als Wellenbelastungen auftreten und mit den bodenmechanischen Grundlagen der Bemessung von See- und Ästuardeichen. Seit 2005 leitet Richwien den Arbeitsausschuss Ufereinfassungen EAU.

**Ulrich Smoltczyk**, Jahrgang 1928, war von 1969 bis zu seiner Emeritierung o. Professor für Grundbau und Bodenmechanik der Universität Stuttgart. Er studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Berlin. Nach Promotion und Habilitation wurde er 1965 apl. Professor für Theoretische Bodenmechanik. Von 1961 bis 1969 war er Grundbauingenieur bei der Philipp Holzmann AG in Hamburg. Prof. Smoltczyk war und ist bis heute in vielen nationalen und internationalen Fachgremien engagiert. 1970 übernahm er die Leitung der Fachsektion Bodenmechanik der DGEG. Von 1978 bis 1990 prägte er als Vorsitzender die Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau (heute DGGT) und war Begründer der Zeitschrift „Geotechnik“. Er war Vizepräsident Europa der Int. Gesellschaft für Bodenmechanik und Grundbau (ISSMFE) und als Leiter der Projektgruppe Mitverfasser des Eurocodes 7. Für seine wissenschaftlichen Verdienste erhielt er 1994 die Ehrendoktorwürde der Technischen Universität Dresden. Seine Nähe zur Ingenieurpraxis unterstrich er 1976 mit der Gründung des Ingenieurbüros Smoltczyk & Partner, Stuttgart. Der Name Smoltczyk ist eng verbunden mit dem Grundbau-Taschenbuch. 1980 übernahm er mit der 3. Auflage die Schriftleitung und entwickelte das Grundbau-Taschenbuch zum Standardwerk der Geotechnik bis zur 6. Auflage und bis zur englischsprachigen Ausgabe als Herausgeber weiter.

**Norbert Vogt**, Jahrgang 1953, studierte Bauingenieurwesen an den Universitäten in Braunschweig und Stuttgart mit Vertiefungen Geotechnik, Massivbau und Statik. Seine Promotion in Stuttgart behandelte das Thema Erdwiderstandsmobilisierung bei wiederholten Wandbewegungen in Sand und entstand auf der Grundlage von großmaßstäblichen Versuchen, Messungen an Schleusen, speziellen Laborversuchen in Hannover und Karlsruhe sowie Finite-Elemente-Modellierungen. Nach 18 Jahren als geotechnischer Berater und Geschäftsführer der Smoltczyk & Partner GmbH und Mitwirkung an vielen herausfordernden Grundbauprojekten wurde er 2001 an den Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau an der Technischen Universität München berufen. Sein spezielles Interesse betrifft die Baugrund-Bauwerks-Interaktion. Universitätsprofessor Vogt ist Obmann der Düsenstrahl-Norm DIN 4093 und bei der neuen DIN 1054 zuständig für Gründungen. Er wirkt als deutscher Delegierter im Scientific Committee 7 am EC 7 mit.

**Hans-Werner Vollstedt**, Jahrgang 1949, studierte Bauingenieurwesen mit Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau an der Technischen Universität Braunschweig. Die Promotion erfolgte anschließend dort am Institut für Statik. Die ersten 10 Berufsjahre verbrachte er bei der Philipp Holzmann AG an wechselnden Einsatzstellen. Ende 1987 wechselte er nach Bremerhaven zum Hansestadt Bremischen Hafenamts, das 2002 in die bremenports GmbH & Co. überging. Dort ist er jetzt Leiter des Geschäftsbereiches Hafengebäude, der sowohl die Bremischen Hafengebäude plant und umsetzt als auch nationale und

internationale Planungs- und Beratungsaufgaben wahrnimmt. Alle großen Bremerhavener Hafenbauprojekte der vergangenen 20 Jahre wurden im Wesentlichen unter seiner Leitung ausgeführt. Dazu gehören u. a. die Bauabschnitte 3, 3 a und 4 der Containerkaje sowie die Neubauten der Fischereihafen-Doppelschleuse und der Kaiserschleuse.

**Christos Vrettos**, Jahrgang 1960, studierte Bauingenieurwesen an der Universität Karlsruhe. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Boden- und Felsmechanik promovierte er dort im Jahr 1988. An der Universität Kyoto in Japan und am M. I. T. in Boston war er Postdoktorand. Anschließend bis 1996 arbeitete er als Oberingenieur am Grundbauinstitut der Technischen Universität Berlin, wo er habilitierte. Umfangreiche praktische Erfahrung durch die nachfolgende Tätigkeit in einem Technischen Büro eines Baukonzerns und in einem großen geotechnischen Planungsbüro. Seit 2004 leitet er den Lehrstuhl für Bodenmechanik und Grundbau an der Technischen Universität Kaiserslautern. Er ist Berater für bedeutende Projekte im In- und Ausland. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion, die experimentelle Bodendynamik, die Modellierung von Gründungen und geotechnischen Bauwerken sowie das mechanische Verhalten teilgesättigter Böden.

**Anton Weißenbach**, Jahrgang 1929, studierte von 1948 bis 1954, mehrmals unterbrochen durch Erwerbstätigkeit, Bauingenieurwesen an der Technischen Hochschule München, war dann ein Jahr als Bauführer im Hochbau, vier Jahre als Gruppenleiter im Konstruktionsbüro einer Großbaufirma und 23 Jahre in zunehmend verantwortlichen Funktionen im Dienste der Baubehörde Hamburg beim U-Bahn- und S-Bahn-Bau tätig. 1962 promovierte er an der Technischen Hochschule Hannover, 1970 folgte die Habilitation. 1982 übernahm er den neu geschaffenen Lehrstuhl „Baugrund-Grundbau“ an der Universität Dortmund. 2001 ehrte ihn die Universität Kassel mit der Ehrenpromotion. Mehrere Jahrzehnte, auch noch nach seinem altersbedingten Ausscheiden aus der Tätigkeit an der Universität Dortmund im Jahr 1994, war er ehrenamtlich bei der Erarbeitung von Normen und Empfehlungen für den Grundbau tätig. Er ist Obmann der Normenausschüsse DIN 4123 „Unterfangungen“, DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ und DIN 1055-2 „Bodenkenngößen“, außerdem war er Leiter der Arbeitsgruppe, die im Wesentlichen die neue DIN 1054:2005 erarbeitet hat. Seine Tätigkeit als Obmann des Arbeitskreises „Baugruben“ der DGGT gab er nach 40 Jahren im Juni 2006 ab. Bekannt wurde er auch durch zahlreiche Veröffentlichungen und Vorträge.

**Karl Josef Witt** ist seit 1997 Universitäts-Professor am Lehrstuhl für Grundbau an der Bauhaus-Universität Weimar und leitet den Fachbereich Geotechnik der angegliederten Materialforschungs- und Prüfanstalt Weimar (MFPA-Weimar). Seine Forschungsschwerpunkte decken den Bereich Bodenstrukturen, Sicherheit von geotechnischen Bauwerken und Umweltgeotechnik ab. Er ist Mitglied zahlreicher Ausschüsse und Arbeitsgruppen, daneben Sachverständiger bei komplexen Schadens- und Streitfällen sowie Prüflingenieur für Erd- und Grundbau. Er studierte an der Universität Karlsruhe Bauingenieurwesen und promovierte am Institut für Grundbau Bodenmechanik und Felsmechanik mit einer Arbeit über Filtrationseigenschaften weitgestufter Erdstoffe. Die über 20-jährige praktische Erfahrung und die Nähe zu Projekten des Erd- und Grundbaus im Schnittbereich zwischen Ingenieurpraxis und Wissenschaft hat er sich zunächst in einem wasserbaulichen Planungsbüro und schließlich als selbstständiger Beratender Ingenieur in einem geotechnischen Planungsbüro erworben.



## Verzeichnis der Autoren

o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.  
Dr. h. c. mult. Heinz Brandl  
Technische Universität Wien  
Institut für Geotechnik  
Karlsplatz 13  
1040 Wien  
Österreich  
*(3.9 Stützbauwerke und konstruktive  
Hangsicherungen)*

Jacob Gerrit de Gijt  
Gemeentewerken Rotterdam  
Galvanistraat 15  
3029 AD Rotterdam  
Niederlande  
*(3.4 Gründungen im offenen Wasser)*

Dipl.-Ing. Hans-Gerd Haugwitz  
Bauer Spezialtiefbau GmbH  
Wittelsbacher Straße 5  
86529 Schrobenhausen  
*(3.6 Pfahlwände, Schlitzwände,  
Dichtwände)*

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Achim Hettler  
Universität Dortmund  
Fakultät Bauingenieurwesen  
Fachgebiet Baugrund-Grundbau  
August-Schmidt-Straße 6  
44227 Dortmund  
*(3.5 Baugrubensicherung)*

Dipl.-Ing. Hans-Uwe Kalle  
ArcelorMittal Commercial RPS  
Deutschland GmbH  
Spundwand/ Technisches Büro Hagen  
Eilpener Straße 71–75  
58091 Hagen  
*(3.3 Spundwände)*

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert  
Universität Kassel  
Institut für Geotechnik und Geohydraulik  
Mönchebergstraße 7  
34125 Kassel  
*(3.2 Pfahlgründungen)*

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Lambertz  
Duisburger Hafen AG  
Alte Ruhrorter Straße 42–45  
47119 Duisburg  
*(3.3 Spundwände)*

PD Dr.-Ing. habil. Kerstin Lesny  
Universität Duisburg-Essen  
Institut für Grundbau und Bodenmechanik  
Universitätsstraße 15  
45117 Essen  
*(3.4 Gründungen im offenen Wasser)*

Dr.-Ing. Karl Morgen  
WTM Engineers GmbH  
Ballindamm 17  
20095 Hamburg  
*(3.3 Spundwände)*

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Placzek  
ELE Beratende Ingenieure GmbH  
Erdbaulaboratorium Essen  
Susannastraße 31  
45136 Essen  
*(3.7 Gründungen in Bergbaugebieten)*

Prof. Dr.-Ing. Matthias Pulsfort  
Bergische Universität Wuppertal  
Fachbereich D, Abt. Bauingenieurwesen  
Lehr- und Forschungsgebiet Geotechnik  
Pauluskirchstraße 7  
42285 Wuppertal  
*(3.6 Pfahlwände, Schlitzwände,  
Dichtwände)*

Prof. Dr.-Ing. Werner Richwien  
Universität Essen  
Institut für Grundbau und Bodenmechanik  
Universitätsstraße 15  
45117 Essen  
(3.3 Spundwände)

em. Prof. Dr.-Ing. habil.  
Ulrich Smolczyk  
Adlerstraße 63  
71032 Böblingen  
(3.1 Flachgründungen)

Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt  
Technische Universität München  
Zentrum Geotechnik  
Baumbachstraße 7  
81245 München  
(3.1 Flachgründungen)

Dr.-Ing. Hans-Werner Vollstedt  
bremenports GmbH & Co. KG  
Am Strom 2  
27568 Bremerhaven  
(3.3 Spundwände)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christos Vrettos  
Technische Universität Kaiserslautern  
Lehrstuhl für Bodenmechanik  
und Grundbau  
Erwin-Schrödinger-Straße  
67663 Kaiserslautern  
(3.8 Erschütterungsschutz)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h.  
Anton Weißenbach  
Am Gehölz 14  
22844 Norderstedt  
(3.5 Baugrubensicherung)

## 3.1 Flachgründungen

*Ulrich Smolczyk und Norbert Vogt*

### 1 Begriffe

Als *Flächengründungen* werden Gründungskörper bezeichnet, die äußere Lasten ausschließlich über horizontale oder wenig geneigte Sohlflächen in den Baugrund einleiten. Dies verursacht flächenhaft verteilte, überwiegend vertikale (Sohnormalspannungen), aber auch horizontale Bodenreaktionen (Sohlschubspannungen). Mit zunehmender Einbindetiefe treten unter exzentrischen Vertikallasten sowie unter Horizontallasten auch Erdwiderstände an den Fundament-Stirnseiten auf, woraus sich eine Einspannwirkung im Baugrund entwickeln kann. Bei entsprechend großer Einbindetiefe kennzeichnet die kombinierte Lastabtragung über Gründungssohle und Fundament-Stirnseiten Tiefgründungen (Pfeiler-, und Senkkastengründungen). Sofern deren Stirnseiten ohne Kontakt zum Baugrund sind, wirken auch derartige Tiefgründungen als Flächengründungen. Flächengründungen mit geringer Einbindetiefe werden als *Flachgründungen* bezeichnet, wenn keine nennenswerte Einspannung besteht bzw. diese nicht angesetzt wird.

Zu den Flachgründungen gehören Einzelfundamente, Streifenfundamente und Sohlplatten sowie Kombinationen dieser Grundformen. Bei Sohlplatten spricht man dann von Gründungs- oder Fundamentplatten, wenn diese der planmäßigen Abtragung der Bauwerkslasten auf den Baugrund dienen. Wenn Stützen und Wände auf Einzel- und Streifenfundamenten gegründet sind, stellen Bodenplatten zunächst nur einen Raumabschluss dar. Sie haben jedoch für direkt auf sie einwirkende Nutzlasten wie Stapel-, Regallasten und Fahrzeuglasten sowie gegebenenfalls zur Aufnahme von Wasserdruck auch statische Funktionen. Solche Bodenplatten können durch Setzungen der mit ihnen verbundenen Fundamente auch Zwangsbeanspruchungen erhalten und sich dabei unplanmäßig an der vertikalen Bauwerkslastabtragung beteiligen.

Auch flach oder steil geneigte Kegelschalen, z. B. im Behälterbau, sind den Flachgründungen zuzurechnen.

Flächen- und Flachgründungen leiten Bauwerkslasten in den Baugrund ein, wobei die Verformungen von Gründung und Baugrund gekoppelt sind. Dabei darf der Grenzzustand der Tragfähigkeit weder für die Gründung noch für den Baugrund erreicht werden und die Verformungen müssen verträglich bleiben, wozu der Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit zu führen ist.

#### Stand der Normung

- DIN 1054:2005-01: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau.
- DIN EN 1997-1:2005-10: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln.
- E DIN EN 1997-1 / NA:2009-02 Nationaler Anhang; National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln.

- E DIN 1054-10: 2009-02: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Ergänzende Regeln zu DIN EN 1997-1.

Als zusammenfassende Darstellung der drei letztgenannten Normen dient ein DIN-Normenhandbuch „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“. Dort wird auch auf die ergänzenden nationalen Normen und Empfehlungen der Geotechnik Bezug genommen.

## 2 Entwurfsgrundlagen

Zu den Entwurfsgrundlagen gehören Angaben zu Art und Form des Bauwerks, die Belastung seiner tragenden Teile (Tragwerk) und ein geotechnischer Bericht mit den Ergebnissen der Baugrunderkundung und einer gründungstechnischen Stellungnahme. Da die Wahl der Gründungsart das Bauwerk konstruktiv nachhaltig beeinflussen kann, stellt man in der ersten Planungsphase einen Vorentwurf auf, der bei fortschreitendem Kenntnisgewinn modifiziert werden kann, zumal die eigentliche Baugrunderkundung oft parallel zur Planung des Bauwerks durchgeführt wird und der geotechnische Bericht zu Beginn der Planung noch nicht vorliegt. Für die Bearbeitung muss geklärt sein, in welche geotechnische Kategorie die erforderlichen geotechnischen Maßnahmen gemäß DIN 1054 und DIN 4020 voraussichtlich einzuordnen sein werden, denn davon hängt der Umfang der Baugrunduntersuchungen und die Art zu erstellender geotechnischer Berichte ab. Zur Einordnung in eine geotechnische Kategorie ist eine Vorkennntnis der allgemeinen Baugrundbeschaffenheit und der Grundwasserstände erforderlich. Unabhängig von der geotechnischen Kategorie wird für die geotechnische Bearbeitung benötigt:

- eine Darstellung des Bauwerks in Lageplan, Grundrissen und Schnitten, sodass die räumliche Einordnung des Bauwerks als Ganzes möglich ist, der innere Kräftefluss erkennbar wird und bei Gebäuden die gewünschten Nutzungen in den untersten Geschossen entnommen werden können;
- eine Zusammenstellung der in den Boden einzuleitenden Lasten;
- eine Bestandsaufnahme der von der Baumaßnahme möglicherweise betroffenen Nachbarbebauung, Versorgungsleitungen und Verkehrsflächen;
- die Klärung von Rechtsansprüchen, die für die geplante Gründungsmaßnahme entscheidend sein können (z. B. Ankerung auf Nachbargrundstücken, Erschütterungsbegrenzung, Rutschgefährdung);
- geometrische Zwangspunkte;
- spätere Erweiterungswünsche;
- Anschluss an vorhandene Bauten bzw. deren Einbeziehung;
- Terminwünsche des Bauherrn bzw. Terminzwänge aus dem Bauzeitenplan;
- absehbare Behinderungen durch andere Bauvorgänge, laufenden Verkehr oder Betrieb und vorhandene Versorgungsleitungen.

Für die geotechnische Kategorie 2 und, umso mehr, für Kategorie 3 sind darüber hinaus erforderlich:

- Grenzmaße für Setzungen und Horizontalverschiebungen;
- bei hohen Grundwasserständen: Festlegung, welches Restrisiko bei der Festlegung des Bemessungswasserstandes im Hinblick auf Auftriebsicherheit des Bauwerks und Wasserdichtigkeit unterirdischer Bauteile eingegangen werden kann;
- Temperatureinflüsse;
- die Festlegung von zu berücksichtigenden Unfall-Szenarien;
- chemische Merkmale des Bodens und des Grundwassers;

- geologische und hydrogeologische Merkmale des Baugeländes (Gesteinslöslichkeit; Störzonen; unterirdische Hohlräume; registrierte Erdfälle, Rutschungen, unterirdische Verschiebungen usw.);
- Gründungsarten und -tiefen angrenzender Bauten;
- absehbare Gefährdungen durch spätere Aufgrabungen oder Kolke;
- absehbare Gefährdungen durch langfristige Güteminderungen der Baustoffe (z. B. Korrosion, Entfestigung von Beton, s. EN 1992-1-1, Tab. 4.1, usw.) oder des Baugrundes (Auslaugung, klimatische oder chemische Einflüsse);
- Gefährdung durch Abspülen und Fortreißen des Baugrunds in Uferbereichen oder Küstennähe;
- absehbare Gefährdungen durch pflanzliche und tierische Einflüsse;
- Erdbebengefährdung und Daten dazu, s. auch Kapitel 1.8 und 3.8;
- Bergschädengefährdung und Daten dazu, s. auch Kapitel 3.9.

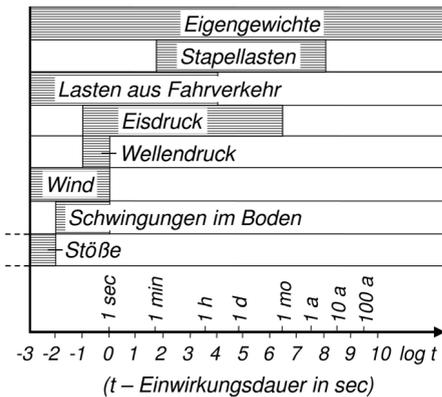
Für geotechnische Vorberechnungen sind überschlägige Angaben zu charakteristischen Werten der ständigen und veränderlichen Lasten erforderlich und ausreichend, siehe dazu die Zahlenwerte in den folgenden künftigen Eurocodes bzw. aktuell den entsprechenden Teilen von DIN 1055 – Einwirkungen auf Tragwerke:

- DIN EN 1991-1-1:2002-10: Wichten, Eigengewichte und Nutzlasten im Hochbau;  
DIN 1055-1:2002-06: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, DIN 1055-3:2006-03: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten
- DIN EN 1991-1-2:2003-09: Brandeinwirkungen
- DIN EN 1991-1-3:2004-09: Schneelasten;  
DIN 1055-5:2005-07: Schnee- und Eislasten
- DIN EN 1991-1-4: 2005-07: Windlasten;  
DIN 1055-4:2005-03: Windlasten
- DIN EN 1991-1-5:2004-07: Temperatureinwirkungen;  
DIN 1055-7:2002-11: Temperatureinwirkungen
- DIN EN 1991-1-6:2005-09: Einwirkungen während der Bauausführung;  
DIN 1055-8:2003-01: Einwirkungen während der Bauausführung
- DIN EN 1991-1-7:2007-02: Außergewöhnliche Einwirkungen;  
DIN 1055-9:2003-08: Außergewöhnliche Einwirkungen
- DIN EN 1991-2:2004-05: Verkehrslasten auf Brücken
- DIN EN 1991-3:2007-03: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen;  
DIN 1055-10:2004-07: Einwirkungen infolge Krane und Maschinen
- DIN EN 1991-4:2006-12: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter;  
DIN 1055-6:2005-03: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter

Zum Eisdruck siehe DIN 1055-5 und [26].

Zu beachten ist, dass in der Bauwerksstatik ständige und nichtständige Lasten auf charakteristischem Niveau für geotechnische Nachweise bis zur Gründung getrennt verfolgbar bleiben sollten. Man teilt die nichtständigen Lasten weiter nach ihrer Einwirkungsdauer auf, um zu entscheiden, welche Einwirkungen in Abhängigkeit von der Bodenart setzungswirksam sind (Bild 1).

Bei mehrgeschossigen Gebäuden kann eine Abminderung der Verkehrslasten über die nach DIN 1055 für alle Geschosse außer den drei höchstbelasteten anzusetzenden hinaus durchaus zweckmäßig sein (Keller = Geschoss; Satteldach =  $\frac{1}{2}$  Geschoss; ohne Fundamente), siehe [40, 57].



**Bild 1.** Aufgliederung von Fundamentlasten nach ihrer möglichen Einwirkungsdauer (schematisch)

### 3 Einzelfundamente

#### 3.1 Allgemeine Planung

##### 3.1.1 Gesichtspunkte für die Wahl einer einfachen Flachgründung

In der Regel wird man bei der Wahl des Gründungsverfahrens zunächst prüfen, ob eine einfache Flachgründung mit Einzel- und Streifenfundamenten in frostsicherer Tiefe technisch und wirtschaftlich vertretbar ist, bevor zusätzlich Bodenverbesserungsverfahren (s. Kapitel 2.2) oder alternativ eine Flächengründung oder Tiefgründung (s. Kapitel 3.2) in Betracht gezogen werden. Dazu werden mit überschlägigen Lasten und mithilfe erster Grundbruch- und Setzungsnachweise die erforderlichen Fundamentabmessungen abgeschätzt, um die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer Flachgründung zu prüfen. Bei einfachen Baugrund- und Gründungsverhältnissen können zur Ermittlung der erforderlichen Fundamentgrößen auch die Tabellenwerte der DIN 1054 für sicher aufnehmbare Sohldruckspannungen Anwendung finden.

Schon bei dieser Vorbemessung sollten die in Abschnitt 2 aufgezählten besonderen Gesichtspunkte qualitativ weitgehend beachtet werden, da sie oft die Gründung stärker beeinflussen als die reine Statik.

Bei Bauwerken der geotechnischen Kategorien 2 und 3 sollte schon bei der Vorbemessung eine Schätzung der Setzungsunterschiede infolge langfristiger Einwirkungen vorgenommen werden, da bei Flachfundamenten meist eher das Setzungsverhalten (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) als die Grundbruchsicherheit (Grenzzustand der Tragfähigkeit) die Abmessung bestimmt. Es genügt meist, eingrenzend Schätzwerte für die Steifemoduln der kompressiblen Schichten anzusetzen, um zu beurteilen, ob

- die Größenordnung der absoluten Setzungen überhaupt Einzelfundamente ermöglicht;
- die rechnerischen oder zu erwartenden Setzungsunterschiede, bezogen auf die Feldweiten, unzulässig groß werden;
- eine Änderung der Einbindetiefe die Situation entscheidend verbessert – insbesondere bei geschichtetem Baugrund und geringer tragfähigen Deckschichten;
- die Auswirkungen der Setzungen durch eine geschickte zeitliche Baufolge abgeschwächt werden können, indem maßgebende Bauwerksfugen möglichst spät geschlossen oder die Verfestigung des Baugrunds während der Aufbringung der Rohbaulasten ausgenutzt werden.