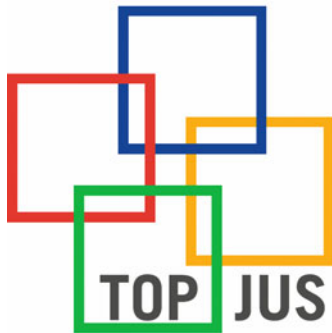


Conrad Boley (Hrsg.)

Handbuch Geotechnik

KOMPETENZ IM (SPEZIAL-)TIEF- UND TUNNELBAURECHT

www.topjus.de



RECHTSANWÄLTE
**KUPFERSCHMID ENGLERT
PICHL GRAUVOGL & PARTNER**
MÜNCHEN
INGOLSTADT
PFAFFENHOFEN
SCHROBENHAUSEN
NORDHAUSEN

TOPJUS – Rechtsanwälte mit 5 Standorten in Deutschland und über 80 Mitarbeitern befassen sich seit über 35 Jahren mit allen Rechtsfragen, die das „*Bauen in der (oft unbekannt)en Tiefe*“ mit dem Überraschungsbaustoff Baugrund bzw. Gebirge im In- und Ausland mit sich bringen. Zahlreiche Spezialveröffentlichungen und viele Schulungsveranstaltungen an Universitäten und Hochschulen, bei Bauindustrieverbänden sowie Inhouse-Seminaren unterstreichen dies.

Dazu zählen insb. das „*Handbuch des Baugrund und Tiefbaurechts*“ (4. Aufl. 2011), das „*Baurecht-Taschenbuch: Sonderbauverfahren Tiefbau*“ (1. Aufl. 2011), der „*Beck'sche Vergaberechts- und VOB-Kommentar, Teil C*“ (2. Aufl. 2008), das „*Handbuch Nebenangebote – Sondervorschläge im Vergabe – und Vertragsrecht*“ (1. Aufl. 2009) und der „*Baukommentar*“ (2. Aufl. 2010).

TOPJUS-Rechtsanwälte beraten und begleiten in juristischer Hinsicht z.B. bei großen Pipeline-Vorhaben, Tunnelbauten, Baugruben, Tiefgaragenanlagen, Kanal- und Gleisbaustrecken, Straßenbau-, Wasserstraßen- und Schleusenprojekten oder auch Deponiesanierungen, beginnend bei der Planungsvorbereitung über die Ausschreibung, Vergabe, Ausführung, Beweissicherung, Abrechnung und Nachtragsbearbeitung bis zum Abschluss der Mängelhaftung.

Die Anwälte übernehmen die außergerichtliche und gerichtliche Vertretung und sind als Schlichter, Rechtsgutachter, Adjudikatoren oder Schiedsrichter in dieser schwierigen Materie tätig. Die Kenntnis der Tiefbautechnologien ist dabei unerlässlich.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. jur. Klaus Englert

Präsident des Instituts für Deutsches und Internationales Baurecht an der Humboldt-Universität zu Berlin
Hon.-Prof. an der Hochschule Deggendorf
Wiss.Beirat der STUVA und des CBTR
Mitglied Normenausschuss DIN EN 1997-2
Mitglied DVA-Arbeitsgruppe ATV DIN 18301, 18302 und 18305; Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht; Mediator

Dr. jur. Bastian Fuchs, LL.M.

Vorstandsmitglied des CBTR
Lehrbeauftragter für Tiefbaurecht an der Universität der Bundeswehr München
Mitglied Normenausschuss DIN EN 1997-2
Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht

Prof. Dr. jur. Josef Langenecker

Fachanwalt für Arbeitsrecht, ordentl. Prof. für Handels-, Gesellschafts-, Bauarbeits- u. Umweltrecht an der Hochschule Deggendorf

Josef Grauvogl

Vizepräsident des CBTR
Centrum für Deutsches und Internationales Baugrund- und Tiefbaurecht
Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht; Lehrbeauftragter für Baurecht an der Technischen Hochschule Stuttgart

Michael Maurer

Wiss.Beirat des CBTR
Lehrbeauftragter für Bau- und Bauversicherungsrecht
Hochschule Deggendorf
FA Bau- u. Architektenrecht

Florian Englert

Rechtsanwalt, Schwerpunkt Bau- u. Wirtschaftsstrafrecht

Angela Oblinger-Grauvogl

Wissenschaftliche Beirätin des CBTR
Lehrbeauftragte für Tiefbaurecht an der Hochschule Augsburg
Fachanwältin für Bau- und Architektenrecht

Martin Vens-Cappell

Wissenschaftl. Beirat des CBTR
Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht

Dr. jur. Günther Schalk

Vorstandsmitglied des CBTR
Lehrbeauftragter für Bau-, Vergabe- und Umweltrecht an der Hochschule Deggendorf
Chefredakteur Unternehmerbrief Bauwirtschaft
Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht

Stephanie Englert, LL.M.

Rechtsanwältin, Schwerpunkt Internationales Recht, gewerblicher Rechtsschutz

Kontakt:

Lenbachstr. 40, 86529 Schrobenhausen, Tel.: 08252/89460 Fax: 08252 / 894645

e-mail: englert@topjus.de / grauvogl@topjus.de / fuchs@topjus.de

Conrad Boley (Hrsg.)

Handbuch Geotechnik

Grundlagen – Anwendungen – Praxiserfahrungen
Mit 620 Abbildungen und 185 Tabellen

Die Autoren

Dietmar Adam, Sonja Bente, Conrad Boley,
Roland Börger, Gebhard Dausch, Klaus Englert,
Winfried Entenmann, Helmut Ferrari, Bastian Fuchs,
Alfred Haack, Roman Marte, Claas Meier,
Friederike Meyer, Karl Morgen, Monika Paulus-Grill,
Florian Scharinger, Stefan Schmitz, Bernd Schuppener,
Siegfried Stelzig, Ulrich Trunk, Christian Paul Waibel,
Jimmy Wehr, Jörg Zimbelmann und Yazhou Zou

PRAXIS



VIEWEG+
TEUBNER

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.

1. Auflage 2012

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2012

Lektorat: Karina Danulat | Annette Prenzer

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Umschlagbild: ARGE City-Tunnel Leipzig Los C

von Michael Wieser, Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Berlin

Satz: FROMM MediaDesign, Selters im Taunus

Druck und buchbinderische Verarbeitung: AZ Druck und Datentechnik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0372-6

Vorwort

Geotechnik ist sowohl ein theoretisch sehr anspruchsvolles Fach als auch ein Gebiet, in dem Erfahrung und praxisgerechte Lösungen eine große Rolle spielen. Daraus erwachsen besondere Anforderungen für die Lösung geotechnischer Aufgabenstellungen. Hierbei möchte das vorliegende Werk als Handbuch Unterstützung leisten.

Möglich wird dies vor allem durch die mitwirkenden Autoren, die alle theoretisch exzellent ausgewiesen sind und gleichzeitig durch ihre langjährige Praxiserfahrung das erforderliche Wissen für einzelne Aufgabenstellungen genau kennen. Vielfältiges Know-How in einem Handbuch übersichtlich zu vereinen, war eine Leitlinie aller Autoren. Damit verbunden war der Anspruch, für die in der Praxis in Planung und Ausführung tätigen Ingenieure als auch für Studierende das Buch so zu konzipieren, dass es eine erste Wissensquelle auf dem Schreibtisch sein möge.

Die einzelnen Kapitel dokumentieren die Vielfalt, die unser Fach mittlerweile besitzt. Dabei werden die Wurzeln der Geotechnik, die sich über die Jahrzehnte aus dem Wasserbau zu einem eigenständigen Fachgebiet entwickelt hat, immer wieder sichtbar. „Without Water there will be no Soil Mechanics“, stellte bereits der Begründer der modernen Bodenmechanik Karl von Terzaghi fest. Daran hat sich bis heute nichts geändert. Und somit nimmt das Wasser im Baugrund sowohl hinsichtlich der theoretischen Beschreibung seiner Wirkungen als auch hinsichtlich seiner konstruktiven Beherrschung im vorliegenden Werk einen besonderen Stellenwert ein.

Die Grundlagen der Bodenmechanik werden so vermittelt, dass trotz einer kompakten Darstellung das vertiefte Verständnis ohne Vereinfachungen erhalten bleibt. Auf längere Herleitungen und Begründungen wird überwiegend verzichtet und ausführlich auf die entsprechende Literatur verwiesen. Nachweiskonzepte und Sicherheitsfragen in der Geotechnik werden im Zusammenhang in einem Kapitel behandelt. Hierbei werden besonders das mittlerweile vollständig umgesetzte Teilsicherheitskonzept sowie der derzeitige Stand der nationalen und europäischen Normung erläutert.

In der geotechnischen Praxis, insbesondere im Spezialtiefbau, hat häufig die Geräte- und Verfahrenswahl entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Lösungen. Somit wurde diesen Aspekten der notwendige Platz eingeräumt und hierbei die Erfahrungen aus der Baupraxis besonders betont.

Das vorliegende Werk schließt mit einem Kapitel über Baugrund- und Tiefbaurecht und somit an einer wichtigen und oft entscheidenden Schnittstelle unseres Faches zu einem angrenzenden Fachgebiet.

Das Handbuch Geotechnik wird geprägt von seinen durchweg in der Praxis stehenden Autoren, die in ihrem beruflichen Alltag in Baufirmen, Ingenieurbüros und in der öffentlichen Verwaltung hohe Verantwortung tragen. Zusätzlich zu ihren vielen Verpflichtungen haben sie noch die Zeit gefunden, ihr Wissen in diesem Buch zu dokumentieren und so anderen Ingenieuren zur Verfügung zu stellen. Dafür gilt ihnen mein herzlicher Dank.

Ein besonderer Dank gebührt meinem Mitarbeiter Dipl.-Ing. Jörg Zimbelmann, der mich mit hohem Engagement und großer Umsicht bei der Organisation des Werkes unterstützt hat.

Dem Verlag Vieweg+Teubner und hier insbesondere Frau Karina Danulat danke ich für die jederzeit konstruktive Zusammenarbeit.

München, September 2011

Conrad Boley

Autorenverzeichnis

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **Dietmar Adam** leitet den Forschungsbereich für Grundbau, Boden- und Felsmechanik am Institut für Geotechnik der Technischen Universität Wien und ist mit seinem Ziviltechnikerbüro Geotechnik Adam ZT GmbH weltweit als Konsulent mit Schwerpunkt Geotechnik tätig.

Dr.-Ing. **Sonja Bente** arbeitet nach Promotion am Institut für Statik der TU Braunschweig als Bauingenieurin bei der WTM Engineers GmbH in Hamburg. Ihre Tätigkeitsschwerpunkte liegen im Bereich der Objekt- und Tragwerksplanung im konstruktiven Ingenieurbau.

Prof. Dr. **Roland Börger** bearbeitet als Diplom-Geologe unter anderem Verfahren zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Altlasten, kontaminierten Standorten sowie von Boden- und Gewässer-Verunreinigungen. Schwerpunkt der Tätigkeit sind organische Kontaminationen in Grundwasserleitern und Oberflächengewässern.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Conrad Boley** ist Ordinarius für Bodenmechanik und Grundbau an der Universität der Bundeswehr München. Er ist Inhaber des Büros Boley Geotechnik, Beratende Ingenieure mit Standorten in München und Stuttgart. Prof. Boley ist Mitglied in zahlreichen Normenausschüssen und Fachgremien. Er ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Erd-, Grund- und Felsbau und von der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau eingetragen als Beratender und bauvorlageberechtigter Ingenieur. Vom Eisenbahnbundesamt (EBA) ist Prof. Boley anerkannt als Gutachter und Prüfer für Erd- und Grundbau, Spezialtiefbau und Tunnelbau.

Dipl.-Ing. **Gebhard Dausch** ist Mitglied der Geschäftsführung der Bilfinger Berger Spezialtiefbau GmbH in Frankfurt. Zudem ist er Mitarbeiter des Technischen Komitee CEN/TC 288 und einiger nationaler Normenausschüsse im Spezialtiefbau.

Dipl.-Ing. (FH), BEng (Hons) **Helmut Ferrari** ist Bauingenieur und Geschäftsführer der EDR GmbH, einem Münchener Ingenieurbüro mit den Schwerpunkten Wasserbau, Wasserkraft, Tunnelbau, Spezialtiefbau und Projektmanagement.

Dr. jur. **Bastian Fuchs**, LL.M. ist Fachanwalt und Lehrbeauftragter für Bau-, Vergabe- und Architektenrecht an der Universität der Bundeswehr München und Mitglied im DIN-Normungsausschuss DIN EN 1997-2 mit DIN 4020 sowie im VDI-Ausschuss VDI 6202. Er ist außerdem Attorney-at-Law in New York, USA.

Prof. Dr. jur. **Klaus Englert** ist Fachanwalt und Honorarprofessor für Bau- und Architektenrecht an der Hochschule Deggendorf, Mitglied unter anderem im DIN-Normungsausschuss DIN EN 1997-2 mit DIN 4020 sowie im Arbeitsausschuss „Sachverständiger für Geotechnik“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. und Präsident des Deutschen Instituts für Baurecht an der Humboldt-Universität zu Berlin.

Dipl.-Geol. Dr. **Winfried Entenmann** ist seit 1984 Mitarbeiter der IGB Ingenieurgesellschaft, Hamburg. Er ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für den Gefährdungspfad Boden – Wasser und tätig in den Bereichen Projektsteuerung, Bauoberleitung, umwelttechnische und geotechnische Beratung.

Prof. Dr.-Ing. **Alfred Haack** ist Bauingenieur und arbeitet seit 45 Jahren bei und mit der Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. – STUVA, Köln (bis Ende 2007 als geschäftsführendes Vorstandsmitglied und seitdem als freier Mitarbeiter). Seine Tätigkeitsschwerpunkte liegen im Bereich der Bauwerksabdichtung und des Brandschutzes für unterirdische Verkehrsanlagen und im Ingenieurbau. Zudem ist er seit 15 Jahren Honorarprofessor an der TU Braunschweig.

Dipl.-Ing. Dr. techn. **Roman Marte** ist Ingenieurkonsulent für Bauwesen und Teilhaber des Ingenieurbüros GDP ZT-OG mit Standorten in Graz, Klagenfurt und Oberalm/Salzburg, Österreich. Zudem unterrichtet er als Lehrbeauftragter am Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU-Graz und wird dort 2012 die Leitung des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau als Universitätsprofessor übernehmen.

Dr.-Ing. **Claas Meier** ist Projektleiter im Ingenieurbüro Boley Geotechnik in München und aktives Mitglied des Arbeitskreises Rüstungsaltposten des Ingenieurtechnischen Verbands für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA).

Dr.-Ing. Dipl.-Geol. **Friederike Meyer** ist als Projektleiterin im Bereich Geotechnik bei CDM Consult in Berlin tätig. Ihre thematischen Schwerpunkte liegen in der Umweltgeotechnik und der geotechnischen Baugrundbeurteilung.

Dr.-Ing. **Karl Morgen** ist Bauingenieur und Prüfenieur sowie geschäftsführender Gesellschafter des Ingenieurbüros WTM ENGINEERS GmbH. Zudem arbeitet er in zahlreichen Normungsgremien und berufsständischen Verbänden mit.

Dr. phil. **Monika Paulus-Grill** promovierte an der Uni Salzburg in Erdwissenschaften (Petrographie, Mineralogie und Geologie) und ist Mitarbeiterin im Ingenieurbüro GDP ZT-OG in Oberalm/Salzburg, Österreich mit Arbeitsschwerpunkten im Bereich der Baugrunderkundung und Umweltgeologie.

Dipl.-Ing. Dr. techn. **Florian Scharinger** ist Bauingenieur und Mitarbeiter im Ingenieurbüro GDP ZT-OG in Graz, Österreich. Im Rahmen des Doktoratsstudiums an der TU-Graz widmete er sich der Weiterentwicklung eines Stoffgesetzes für weiche Böden, während die aktuellen Tätigkeitsschwerpunkte im Bereich der Planung und Ausführung von geotechnischen Projekten liegen.

Dr.-Ing. **Stefan Schmitz** ist Bauingenieur und Mitarbeiter der Bauer Spezialtiefbau GmbH. Herr Schmitz war neben der Leitung der Gruppe Messtechnik unter anderem als Projektleiter und Projektdirektor im In- und Ausland tätig. Derzeit leitet Herr Schmitz den Bereich Kleinbohrtechnik im Unternehmen.

Dr.-Ing. **Bernd Schuppener** war Leiter der Abteilung Geotechnik der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe und Vorsitzender des für den Eurocode 7 zuständigen CEN-Ausschusses „Geotechnische Bemessung“. Er ist Leiter des Lenkungsremiums Grundbau, Geotechnik des Normenausschusses Bauwesen im DIN und Vorsitzender des Ausschusses Sicherheit im Erd- und Grundbau.

Dipl.-Ing. **Siegfried Stelzig** ist Inhaber des Büros IGU in Mindelheim. Schwerpunkt des Büros sind die Erarbeitung von Problemlösungen für Grundwasserabsenkungen und Bodenstabilisierung durch Grundwasserentzug.

Prof. Dr.-Ing. **Ulrich Trunk** ist Dozent für Geotechnik an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Muttenz/Basel in den Bereichen Lehre, Forschung und Beratung und war zuvor lange Jahre bei einem international ausgerichteten Unternehmen im Spezialtiefbau tätig.

Dipl.-Ing. **Christian Paul Waibel** ist Absolvent der Studienrichtung Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Wien und arbeitet als Geotechniker im Zivilingenieurbüro BGG Consult, Wien.

Dr.-Ing. **Wolfgang Wehr** M.Sc. ist als Bauingenieur Leiter der Abteilung Corporate Services beim Spezial-Tiefbauunternehmen Keller Holding GmbH. Weiterhin ist er in verschiedenen Arbeitskreisen der DGGT vertreten als auch Lehrbeauftragter für Spezialtiefbau an der TU Dresden.

Dipl.-Ing. **Jörg Zimmelmann** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bodenmechanik und Grundbau an der Universität der Bundeswehr München. Davor war er mehrere Jahre als Projektgenieur im Technischen Büro Tiefbau der Ed. Züblin AG in Stuttgart tätig.

Dr.-Ing. **Yazhou Zou** ist Bauingenieur und wissenschaftlicher Laborleiter (Oberingenieur) für Bodenmechanik und Grundbau am Lehrstuhl der Universität der Bundeswehr München.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Autorenverzeichnis	VII
1 Grundlagen der Geologie	1
1.1 Begriffsdefinitionen und Spektrum	1
1.2 Der Kreislauf der Gesteine	1
1.3 Glossar ausgewählter Fest- und Lockergesteine	2
1.3.1 Festgesteine	2
1.3.2 Lockergesteine	6
1.4 Literatur	11
2 Eigenschaften und Klassifikation von Böden	13
2.1 Zusammensetzung von Böden und Bodengefüge	13
2.1.1 Korngrößen und Korngrößenverteilung	13
2.1.2 Entstehung und Mineralbestand von Bodenkörnern	15
2.1.3 Kornformen und Kornrauigkeit	16
2.1.4 Kornoberfläche	17
2.1.5 Bodengefüge	17
2.1.6 Porenwasser und Porenluft	19
2.2 Physikalische Eigenschaften von Böden	21
2.2.1 Bodenkenngrößen	21
2.2.2 Zustandskenngrößen	25
2.3 Mechanische Eigenschaften von Böden	29
2.3.1 Wechselwirkung zwischen Wasser und Bodenkörnern	29
2.3.2 Verdichtungseigenschaften von Böden	34
2.3.3 Kompressionseigenschaften und Formänderungsverhalten	37
2.3.4 Festigkeit	43
2.4 Bodenklassifikation	51
2.5 Literatur	59
3 Baugrunderkundung, geotechnische Labor- und Feldversuche	61
3.1 Baugrunderkundung	61
3.1.1 Aufgaben der Baugrunderkundung	61
3.1.2 Geologische Grundlagen	62
3.1.3 Grundlagen gemäß DIN 4020 und EC 7-2	62
3.1.4 Erkundungsverfahren	63
3.1.5 Ausbau von Bohrungen zu Grundwassermessstellen	94
3.1.6 Bohrlochgeophysikalische Verfahren	95
3.2 Laborversuche	96
3.2.1 Versuche zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften	96
3.2.2 Versuche zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften	109

3.3	Feldversuche	128
3.3.1	Dichtebestimmung im Feld	129
3.3.2	Plattendruckversuche	131
3.3.3	Flügelsondierungen	133
3.3.4	Porenwasserdruckmessungen	133
3.3.5	SPT-Test, Bohrlochrammsondierung	133
3.3.6	Seitendrucksondierung	134
3.3.7	Erddruckmessungen	134
3.4	Literatur	135
4	Bodenmechanik	139
4.1	Grundlagen der Elastizitätstheorie	139
4.1.1	Spannungen auf ein Volumenelement	139
4.1.2	Hauptspannungen	139
4.1.3	Dehnungen	140
4.1.4	Elastizitätsgleichungen für einen isotropen Stoff	141
4.1.5	Ebener Verformungszustand	142
4.1.6	Zusammenstellung der Beziehungen zwischen elastischen Parametern	144
4.2	Spannungsermittlung	144
4.2.1	Spannungen infolge Eigengewicht	144
4.2.2	Spannungen infolge von Lasten	147
4.3	Berechnung von Zeitsetzungen	159
4.3.1	Einleitung	159
4.3.2	Eindimensionale Konsolidationssetzung	159
4.3.3	Konsolidationssetzungen bei Vertikaldrainagen	165
4.3.4	Sekundärsetzungen	167
4.3.5	Bestimmung des Konsolidationsbeiwertes	167
4.4	Erddruck	169
4.4.1	Begriffe und Bezeichnungen	169
4.4.2	Erddrucktheorie nach Coulomb	171
4.4.3	Erddrucktheorie nach Rankine	181
4.4.4	Berechnungsverfahren für praktische Anwendungen	185
4.5	Materialmodelle	199
4.5.1	Einführung	199
4.5.2	Grundbegriffe	199
4.5.3	Grundlagen der Materialmodelle für elastisches Materialverhalten	203
4.5.4	Grundlagen der elastoplastischen Materialmodelle	206
4.5.5	Elastoplastische Materialmodelle für Böden	212
4.6	Literatur	223
5	Nachweiskonzepte und Sicherheit in der Geotechnik	225
5.1	Eurocodes und Deutsche Normen (DIN) des Bauingenieurwesens	225
5.1.1	Die Eurocodes	225
5.1.2	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik	227
5.1.3	Die Einführung der Eurocodes in Deutschland	228
5.1.4	Pflege und Weiterentwicklung der Eurocodes	230

5.2	Das „Handbuch Eurocode 7 – Geotechnische Bemessung“	
	Band 1 „Allgemeine Regeln“	231
5.2.1	Einführung	231
5.2.2	Geotechnische Kategorien	232
5.2.3	Bemessungssituationen	232
5.2.4	Charakteristische Werte	234
5.2.5	Grenzzustände der Tragfähigkeit	238
5.2.6	Versagen des Baugrunds (GEO)	240
5.2.7	Grenzzustand des Verlusts der Lagesicherheit (EQU)	250
5.2.8	Grenzzustand des Aufschwimmens (UPL)	251
5.2.9	Hydraulischer Grundbruch, innere Erosion und Piping (HYD)	252
5.2.10	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	253
5.2.11	Beobachtungsmethode	254
5.3	Die Finite-Elemente-Methode zum Nachweis von Grenzzuständen	255
5.3.1	Allgemeines	255
5.3.2	Grenzzustände der Tragfähigkeit	256
5.3.3	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	256
5.4	Literatur	257
6	Wasserhaltung	259
6.1	Wozu Wasserhaltung?	259
6.2	Ziel der Wasserhaltung	259
6.3	Arten der Wasserhaltung	260
6.3.1	Offene Wasserhaltung	260
6.3.2	Geschlossene Wasserhaltung	261
6.3.3	Kombination von offener und geschlossener Wasserhaltung	261
6.3.4	Ausführungstechnik Grundwasserentnahme	261
6.4	Berechnung der Grundwasserabsenkung für stationäre Verhältnisse	263
6.4.1	Grundlagen allgemein	263
6.4.2	Grundlagen der Berechnung von Grundwasserabsenkungen	268
6.4.3	Besondere Einflüsse auf die Grundwasserabsenkung	279
6.5	Berechnung der Wasserhaltung	283
6.5.1	Grundwasserabsenkung durch Brunnen	283
6.5.2	Grundwasserentspannung	289
6.5.3	Vakuumbeaufschlagung von Schwerkraftbrunnen	295
6.5.4	Vakuumwasserhaltung Kleinbrunnen	298
6.5.5	Offene Wasserhaltung	299
6.5.6	Restwasserhaltung in dichten Trögen	307
6.5.7	Versickerung	312
6.6	Ausführung der Wasserhaltung	316
6.6.1	Schwerkraftentwässerung mit Brunnen	316
6.6.2	Vakuumentwässerung	319
6.6.3	Offene Wasserhaltung	320
6.7	Fehlerquellen der Wasserhaltung	321
6.7.1	Wahl des Wasserhaltungssystemes	321
6.7.2	Dimensionierung der Wasserhaltung	322
6.7.3	Ausführung	323
6.8	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Baugrubensystem – Wasserhaltung	324
6.9	Literatur	325

7	Altlasten, Kontaminationen und Kampfmittel	327
7.1	Begriffsdefinitionen	329
7.2	Rechtliche und gesetzliche Grundlagen	335
7.3	Kategorisierung und Klassifizierung von Boden-, Bodenluft- und Gewässerunreinigungen	337
7.3.1	Chemische Kontaminationen	339
7.4	Branchentypische Kontaminationsprofile	354
7.5	Erkundung kontaminationsverdächtiger Standorte	357
7.5.1	Erfassung und Erstbewertung (Phase I)	359
7.5.2	Orientierende Untersuchungen (Phase II a)	360
7.5.3	Gefährdungsabschätzung (Phase II b)	361
7.5.4	Sanierung, Sicherung und Nachsorge (Phase III)	362
7.6	Praxisbeispiele	364
7.6.1	Altstandorte	364
7.6.2	Altablagerungen	370
7.7	Sicherungs- und Sanierungsverfahren	371
7.7.1	Allgemein	371
7.7.2	Sicherung	373
7.7.3	Umlagerung von Boden	374
7.7.4	Dekontamination	375
7.7.5	Grundwassersanierung	376
7.7.6	Sicherung von Deponien	379
7.8	Einschlägige Normen	385
7.8.1	Allgemeines	385
7.8.2	Geotechnische Erkundung, Durchführung von Boden-, Bodenluft-, Deponiegas- sowie Gewässeruntersuchungen	385
7.9	Literatur	392
7.10	Gesetze und Verordnungen	394
8	Geotechnische Bauverfahren	397
8.1	Einleitung	397
8.2	Bohrtechnik	398
8.2.1	Einleitung	398
8.2.2	Bohrverfahren und Bohrwerkzeuge für Kleinlochbohrungen	401
8.2.3	Bohrverfahren und Bohrwerkzeuge für Großlochbohrungen	406
8.3	Pfähle	413
8.3.1	Einleitung	413
8.3.2	Regelwerke	414
8.3.3	Bohrpfähle ($0,3 \text{ m} \leq D \leq 3,0 \text{ m}$)	414
8.3.4	Verdrängungspfähle	422
8.3.5	Mikropfahl ($\varnothing < 0,3 \text{ m}$)	426
8.4	Ankertechnik	428
8.4.1	Einleitung	428
8.4.2	Regelwerke	429
8.4.3	Aufbau von Verpressankern	430
8.4.4	Stahlzugglieder bei Verpressankern	430
8.4.5	Korrosionsschutz bei Verpressankern	432

8.4.6	Herstellung von Verpressankern	434
8.4.7	Spannverfahren	435
8.4.8	Sonderanker	436
8.5	Schlitzwandtechnik	436
8.5.1	Einleitung	436
8.5.2	Regelwerke	437
8.5.3	Ausrüstung	437
8.5.4	Herstellungsverfahren	440
8.5.5	Ausführungsschritte	442
8.6	Spundwandbauweise	448
8.6.1	Allgemeines	448
8.6.2	Baustoffe und Spundwandprofile	448
8.6.3	Einbringtechniken	452
8.6.4	Einbringhilfen	460
8.6.5	Lagegenauigkeit	462
8.6.6	Ziehen von Spundbohlen	464
8.6.7	Dichtigkeit – Probleme und Maßnahmen zur Ertüchtigung	464
8.6.8	Hinweise zu Entwurf und Ausführung	465
8.7	Literatur	466
9	Baugrundverbesserung	469
9.1	Einleitung	469
9.2	Vertikaldrains	469
9.2.1	Einleitung	469
9.2.2	Verfahren und Geräte	470
9.2.3	Entwurf und Bemessung	474
9.2.4	Überwachung und Prüfung	476
9.2.5	Zusammenfassung	477
9.3	Tiefenrüttelverfahren	478
9.3.1	Einleitung	478
9.3.2	Verfahren und Geräte	478
9.3.3	Entwurf und Bemessung	481
9.3.4	Überwachung und Prüfung	487
9.3.5	Zusammenfassung	489
9.4	Fallplattenverdichtung	489
9.4.1	Einleitung	489
9.4.2	Verfahren und Geräte	489
9.4.3	Entwurf und Bemessung	492
9.4.4	Überwachung und Prüfung	494
9.4.5	Zusammenfassung	495
9.5	Düsenstrahlverfahren	495
9.5.1	Einleitung	495
9.5.2	Verfahren und Geräte	495
9.5.3	Entwurf und Bemessung	498
9.5.4	Überwachung und Prüfung	500
9.5.5	Zusammenfassung	501

9.6	Verdichtungsinjektion	501
9.6.1	Einleitung	501
9.6.2	Verfahren und Geräte	501
9.6.3	Entwurf und Bemessung	504
9.6.4	Überwachung und Prüfung	505
9.6.5	Zusammenfassung	506
9.7	Hebungsinjektion	506
9.7.1	Einleitung	506
9.7.2	Verfahren und Geräte	506
9.7.3	Entwurf und Bemessung	509
9.7.4	Überwachung und Prüfung	511
9.7.5	Zusammenfassung	512
9.8	Injektionen ohne Baugrundverdrängung	513
9.8.1	Einleitung	513
9.8.2	Verfahren und Geräte	513
9.8.3	Entwurf und Bemessung	521
9.8.4	Überwachung und Prüfung	524
9.8.5	Zusammenfassung	526
9.9	Tiefe Bodenvermörtelung	527
9.9.1	Einleitung	527
9.9.2	Verfahren und Geräte	528
9.9.3	Entwurf und Bemessung	534
9.9.4	Überwachung und Prüfung	538
9.9.5	Zusammenfassung	539
9.10	Zusammenfassung	539
9.11	Literatur	539
10	Flachgründungen	543
10.1	Einführung	543
10.2	Bemessung von Flachgründungen	544
10.2.1	Beschreibung der Boden-Bauwerk-Interaktion zur Ermittlung von Sohldruckverteilung und Setzungen	545
10.2.2	Geotechnische Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	560
10.2.3	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	565
10.2.4	Nachweisführung mit Hilfe der aufnehmbaren Bodenpressung	568
10.3	Praxis-Hinweise zu Bemessung und Ausführung	568
10.4	Literatur	569
11	Pfahlgründungen	571
11.1	Einleitung	571
11.1.1	Anwendungsbereich	571
11.1.2	Maßgebliche nationale technische Vorschriften für Pfähle	571
11.1.3	Pfahlgründungssysteme – Einzelpfahllösungen, Pfahlroste, Pfahlgruppen, Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP)	572
11.1.4	Baugrunduntersuchungen für Pfahlgründungen	572
11.2	Einzelpfähle – Tragverhalten und Widerstände bei axialer Belastung	575
11.2.1	Allgemeines	575
11.2.2	Axiales Tragverhalten	575

11.2.3	Ermittlung der Pfahlwiderstände für axiale Belastung – Allgemeines ...	578
11.2.4	Ermittlung von Pfahlwiderständen aus statischen Probelastungen ...	578
11.2.5	Ermittlung von Pfahlwiderständen aus dynamischen Probelastungen	580
11.2.6	Axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten	581
11.2.7	Axiale Pfahlwiderstände aus empirischen und erdstatischen Verfahren	593
11.2.8	Pfahlwiderstände bei Mantel- und Fußverpressung	594
11.3	Einzelpfähle – Tragverhalten und Widerstände bei Belastung quer zur Pfahlachse	595
11.3.1	Biegeeweiche Pfähle – Bettungsmodulverfahren	596
11.3.2	Kurze starre Pfähle – Dalbentheorie nach Blum	597
11.4	Bemessung	598
11.4.1	Sicherheitskonzept	598
11.4.2	Einwirkungen aus dem Baugrund	599
11.4.3	Nachweis der Tragfähigkeit	607
11.4.4	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	610
11.5	Pfahlgruppen	610
11.5.1	Axial beanspruchte Pfahlgruppen	610
11.5.2	Tragverhalten und Nachweise von horizontal beanspruchten Pfahlgruppen	612
11.6	Probelastungen	613
11.6.1	Statische axiale Pfahlprobelastungen	614
11.6.2	Statische Probelastungen quer zur Pfahlachse	615
11.6.3	Dynamische Pfahlprobelastungen	617
11.7	Qualitätssicherung bei der Bauausführung	619
11.7.1	Allgemeines	619
11.7.2	Qualitätsprüfungen	619
11.8	Literatur	621
12	Böschungen und konstruktive Hangsicherungen, Baugruben	623
12.1	Einführung	623
12.2	Systematik der Böschungs- und Hangsicherungen	623
12.3	Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen	625
12.3.1	Belastungen und Widerstände	625
12.3.2	Nachweisverfahren	635
12.3.3	Berechnungsverfahren	643
12.3.4	Sicherheitskonzepte	646
12.3.5	Normative Berechnungs- und Bemessungsgrundlagen	647
12.4	Freie Böschungen	652
12.4.1	Allgemeines	652
12.4.2	Neigungsempfehlungen für die Vordimensionierung von Böschungen	653
12.4.3	Rechnerische Standsicherheitsnachweise	653
12.5	Ingenieurbioologische Sicherungsmaßnahmen	676
12.5.1	Deckbauweisen	676
12.5.2	Stabilbauweisen	677
12.5.3	Kombinierte Bauweisen	679

12.6	Konstruktive Böschungssicherungen	680
12.6.1	Bewehrte Erde Konstruktionen	680
12.6.2	Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen	684
12.6.3	Bodenvernagelung	687
12.7	Stützbauwerke	690
12.7.1	Flach gegründete Stützbauwerke	690
12.7.2	Tief gegründete Stützbauwerke	721
12.7.3	Verankerungen	755
12.8	Sonstige Stützkonstruktionen	757
12.8.1	Fangedämme	757
12.8.2	Aufgelöste Stützkonstruktionen	761
12.8.3	Galerien	762
12.8.4	Schalentragwerke	763
12.9	Entwässerungsmaßnahmen	764
12.9.1	Hangstabilisierung durch Entwässerung	764
12.9.2	Entwässerungseinrichtungen bei Stützkonstruktionen	766
12.10	Baugrubensicherungen	768
12.11	Erdwärmenutzung durch Stützkonstruktionen	772
12.12	Literatur	775
13	Tunnelbau und unterirdischer Hohlraumbau	781
13.1	Einführung	781
13.1.1	Geschichte und Bedeutung	781
13.1.2	Statistik	787
13.2	Begriffe und Bezeichnungen	790
13.3	Offene Bauweisen	792
13.3.1	Einführung und geschichtlicher Hintergrund	792
13.3.2	Baugruben	793
13.3.3	Stahlbetonkonstruktionen	798
13.3.4	Rahmenkonstruktionen aus Spundwänden mit Stahlbetonwänden und -decken	802
13.3.5	Deckelbauweise	806
13.3.6	Rahmenvorschub	811
13.4	Geschlossene Bauweisen	812
13.4.1	Einführung	812
13.4.2	Einfluss des Gebirges	813
13.4.3	Vortrieb	822
13.4.4	Konventionelle Vortriebsmethoden	823
13.4.5	Tunnelvortriebsmaschinen	827
13.4.6	Schildmaschinen	828
13.4.7	Tunnelbohrmaschinen	837
13.4.8	Sicherungsmittel	841
13.4.9	Ausbau	851
13.5	Abdichtung	853
13.6	Der Vortrieb kleiner Querschnitte	861
13.6.1	Allgemeines	861
13.6.2	Verfahrensübersicht	862

13.6.3	Verfahrenswahl und Vorerkundung	862
13.6.4	Rohrvortrieb	863
13.6.5	Mikrotunnelbau	867
13.6.6	Das HDD-Verfahren	868
13.7	Literatur	871
14	Geotechnik im Hochwasserschutz	875
14.1	Geotechnische Fragestellungen	875
14.2	Grundlagen geotechnischer Planungen	877
14.2.1	Baugrund und Grundwasser	877
14.2.2	Bestandsbauwerke	878
14.2.3	Maßgebende Auswirkungen	879
14.3	Systeme	880
14.3.1	Deiche	880
14.3.2	HWS-Mauern und HWS-Wände	882
14.3.3	Mobile Systeme	884
14.3.4	Rückhaltebecken und Flutpolder	886
14.3.5	Entlastungstollen und Flutmulden	888
14.4	Bemessungswasserstand	888
14.4.1	Freibord	889
14.5	Deiche	891
14.5.1	Aufbau und Baustoffe	891
14.5.2	Dichtungssysteme	894
14.5.3	Oberflächendichtungen	894
14.5.4	Innendichtungen	896
14.6	Sanierung bestehender Deiche	902
14.7	Überströmbare Deiche	904
14.8	Standsicherheitsnachweise	905
14.8.1	Geotechnische Untersuchungen	905
14.8.2	Maßgebende Lastfälle	907
14.8.3	Nachweise	908
14.8.4	Geotechnische Nachweise	911
14.9	Leitungen und Bauwerke in Deichen	917
14.9.1	Leitungen	917
14.9.2	Bauwerke	918
14.10	Gehölze an Deichen	918
14.11	Qualitätskontrollen im Deichbau	920
14.11.1	Während der Baumaßnahme	920
14.11.2	Nach der Fertigstellung	922
14.12	Deichverteidigung	923
14.13	Literatur	924
15	Geotechnische Messverfahren	925
15.1	Einleitung	925
15.2	Geotechnische Messungen	926
15.2.1	Ziel geotechnischer Messungen	926
15.2.2	Gemessene bzw. abgeleitete Größen	929
15.2.3	Messmethoden	935

15.2.4	Messinstrumente	937
15.2.5	Auslegung und Planung von Mess- und Überwachungs- programmen	949
15.2.6	Aufzeichnung von Messergebnissen	950
15.2.7	Auswertung von Messergebnissen	951
15.2.8	Anwendung geotechnischer Messverfahren	952
15.3	Geographische Informationssysteme (GIS)	957
15.3.1	Welche Informationen können abgefragt werden?	957
15.3.2	Einsatz der GIS-Informationen in der Praxis	959
15.3.3	Informationsquellen – Beispiele	962
15.4	Literatur	963
16	Baugrund- und Tiefbaurecht	965
16.1	Ausschreibungsvorgaben zum Baugrund und die richtige Baugrundausschreibung	965
16.1.1	„Ohne Grund und Boden geht das Bauen nicht.“	965
16.1.2	Was ist „Baugrund“?	966
16.1.3	DIN EN 1997-2, ergänzt durch DIN 4020 als „Baugrund-Bibel“	967
16.1.4	Der Baugrund ist Baustoff	971
16.1.5	Rechtsfolgen aus der Gleichsetzung von Baugrund und Baustoff	972
16.1.6	Zwischenergebnis	974
16.1.7	Ausschreibungsvorgaben des § 7 VOB/A	974
16.2	Die Beweisführung bei Tiefbauarbeiten	977
16.2.1	Beweislastregeln für die Vergütung	978
16.2.2	Beweislastregeln für Schadensersatzansprüche	978
16.2.3	Beweisgrundsätze für §§ 906 und 909 BGB	980
16.2.4	Beweisgrundsätze für die Mangelfreiheit	980
16.2.5	Besonderheiten der Beweisführung bei Tiefbauleistungen	981
16.2.6	Beweismöglichkeiten im Tiefbau	989
16.2.7	Anwendung der „5-M-Methode“ bei Tiefbauleistungen	991
16.3	Checkliste für Tiefbauarbeiten	993
16.4	Sonderprobleme beim Tiefbau	994
16.4.1	„Bauhilfen“ – ein Überblick	994
16.4.2	Definitionen: „Baubehelf“, „Bauhilfsgewerk“ und „Hilfsbauwerk“	995
16.4.3	Die baurechtliche Relevanz der Begriffe	998
16.4.4	Abnahme, Vergütung, Sicherheiten und Mängelhaftung bei Hilfskonstruktionen bzw. Bauhilfsgewerken	1000
16.5	Der Bundesgerichtshof und die Baugrundprobleme	1003
16.6	Schlussbemerkung	1004
	Sachwortverzeichnis	1005