

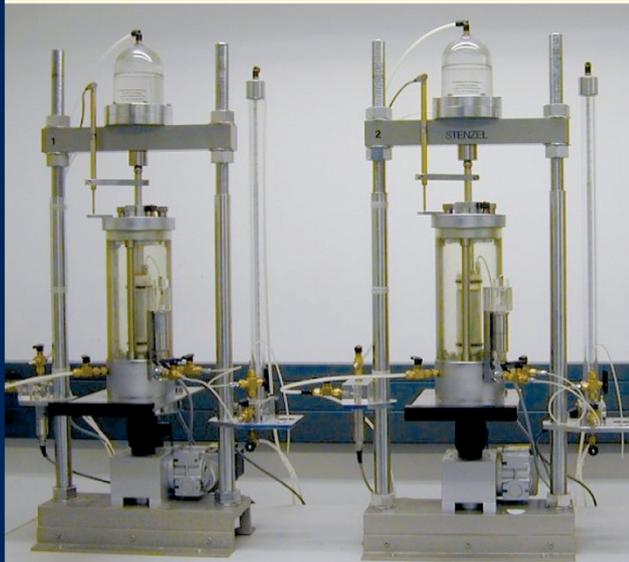
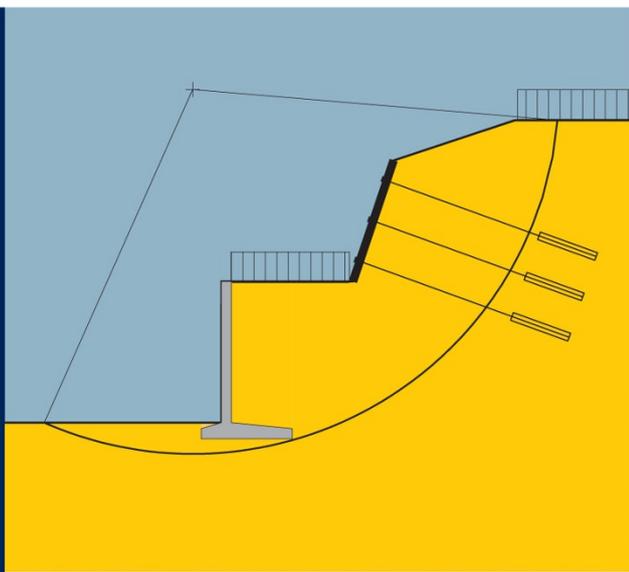


Geotechnik

Bodenmechanik

Gerd Möller

Bauingenieur-Praxis



Gerd Möller

Geotechnik
Bodenmechanik

3. Auflage

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

BiP

3. Auflage

Geotechnik

Bodenmechanik

Gerd Möller

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

Professor Dr.-Ing. Gerd Möller
Fregestr. 37
12161 Berlin

Titelbilder:

Verschiedene Bohrkern, Geopartner, Dr. Volker Eitner
Grafische Darstellung eines Geländebruchs der Fa. GGU, Prof. Dr.-Ing. Johann Buß
Effektive Vertikalspannungen infolge Fundamentbelastung,
Ergebnis der FEM-Software Plaxis 2D, M. Eng. Dipl. -Ing. Dennis Morauf
Zwei Triaxialprüfstände der Fa. Stenzel, Prof. Dr.-Ing. Möller

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.

© 2016 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,
Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von 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 photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

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

Umschlaggestaltung: stilvoll, Waldulm
Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin
Druck und Verarbeitung: Strauss GmbH, Mörlenbach

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

3. Auflage

Print ISBN: 978-3-433-03155-1
ePDF ISBN: 978-3-433-60800-5
oBook ISBN: 978-3-433-60797-8

*In Erinnerung an
Professor Helmut Neumeuer*

Vorwort

Seit dem Jahr 2007 gilt in den Bauordnungen der Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland ausschließlich das Konzept der globalen Sicherheiten, mit dem das der Teilsicherheiten abgelöst wurde. Bezüglich der „Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen“ ging dieser Schritt einher mit der Ablösung rein Deutscher Normen durch Europäische Normen. Die derzeit (2016) aktuelle Liste enthält für den Grundbau elf Normen, von denen fünf Europäische Normen sind. Fünf Deutsche Normen ergänzen diese Europäischen Normen, und nur eine Norm (DIN 4123) ist eine rein Deutsche Norm.

Für die in der Praxis tätigen Ingenieurinnen und Ingenieure ist dies verbunden mit dem Umstand, dass zur gleichen Thematik oftmals mehrere Normen gleichzeitig zu berücksichtigen sind. Da das als wenig anwenderfreundlich zu bewerten ist, wurden 2011 auf dem Gebiet der Geotechnik zwei Normen-Handbücher veröffentlicht, mit denen das Arbeiten mit den wichtigsten Normen erleichtert werden soll. Beide Bände beinhalten jeweils drei Normen. In Band 1 (Allgemeine Regeln) sind das DIN EN 1997-1, DIN EN 1997-1/NA sowie DIN 1054 als ergänzende Norm und in Band 2 (Erkundung und Untersuchung) DIN EN 1997-2, DIN EN 1997-2/NA sowie DIN 4020 als ergänzende Norm. Insgesamt ist festzustellen, dass der Seitenumfang der im jeweiligen Anwendungsfall zu berücksichtigenden Normen enorm zugenommen hat und dass die bestehenden Normen immer wieder erneuert bzw. ergänzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Neuauflage von Band 1 im Dezember 2015. Sie wurde erforderlich, da DIN 1054 inzwischen ergänzt wurde. Die seit März 2014 in überarbeiteter Form vorliegende DIN EN 1997-1 wurde in der Neuauflage allerdings nicht berücksichtigt.

Wie mit dem in diesem Jahr ebenfalls erscheinenden Teil „Geotechnik Grundbau“ wird mit dem vorliegenden Buch nicht zuletzt das Ziel verfolgt, den Umgang mit dem aktuellen Regelwerk zu erleichtern. Neben einer Vielzahl von Formeln, Tabellen, Grafiken, Bildern und Verweisen auf zu beachtende Textstellen in Normen findet sich zusätzlich eine Reihe von Anwendungsbeispielen, da auch im Berufsleben stehende Ingenieure Neues gern anhand von Fallbeispielen erarbeiten.

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

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

Berlin im Februar 2016

Gerd Möller

Inhaltsverzeichnis

1	Einteilung und Benennung von Böden	1
1.1	Bodenmechanische und geologische Begriffe	1
1.1.1	Bezeichnungen	1
1.1.2	Erdaufbau, Erdzeitalter und Gesteinsbildungen	2
1.1.3	Nutzung von Boden oder Fels	4
1.2	Normen und Kriterien zur Einteilung	4
1.3	Einteilung nach Korngrößen und organischen Bestandteilen	7
1.3.1	Kornstrukturen grob- und feinkörniger Böden	7
1.3.2	Einteilung reiner Bodenarten	10
1.3.3	Einteilung zusammengesetzter Böden	11
1.3.4	Einteilung von Böden mit organischen Bestandteilen	15
1.4	Einstufung in Boden- und Felsklassen	16
1.5	Kennzeichnungen nach DIN 4023	17
1.6	Erkennung von Bodenarten mit Hilfe einfacher Verfahren	20
1.6.1	Reibeversuch	21
1.6.2	Schneideversuch	21
1.6.3	Trockenfestigkeitsversuch	21
1.6.4	Konsistenzbestimmung bindiger Böden	22
1.6.5	Plastizität bindiger Böden (Knetversuch)	22
1.6.6	Ausquetschversuch	22
1.6.7	Schüttelversuch	23
2	Wasser im Baugrund	25
2.1	Allgemeines	25
2.2	Regelwerke	26
2.3	Begriffe	26
2.4	Kapillarwasser	28
2.5	Porenwinkelwasser	30
2.6	Hygroskopisches Wasser	31
2.7	Betonangreifende Grundwässer und Böden	31
2.8	Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse	33
2.9	Grundwassermessstellen	35
2.10	Wasserdurchlässigkeit von Böden	39
3	Geotechnische Untersuchungen	41
3.1	Untersuchungsziel	41
3.2	Regelwerke	42
3.3	Verantwortung für die Untersuchungen	42
3.4	Planung der Untersuchungen	42
3.5	Untersuchungsverfahren	43
3.6	Untersuchungen von Baugrund und Grundwasser	45
3.6.1	Voruntersuchungen	46
3.6.2	Hauptuntersuchungen	47
3.6.3	Baubegleitende Untersuchungen	48

3.6.4	Baugrund- und Bauwerksüberwachung nach der Bauausführung	49
3.7	Untersuchungen von Boden und Fels als Baustoff	49
3.7.1	Voruntersuchungen	50
3.7.2	Hauptuntersuchungen	50
3.7.3	Baubegleitende Untersuchungen	51
3.8	Geotechnische Kategorien (GK)	51
3.8.1	Geotechnische Kategorie GK 1	51
3.8.2	Geotechnische Kategorie GK 2	52
3.8.3	Geotechnische Kategorie GK 3	54
3.9	Erforderliche Maßnahmen	57
3.9.1	Geotechnische Kategorie GK 1	57
3.9.2	Geotechnische Kategorie GK 2	57
3.9.3	Geotechnische Kategorie GK 3	58
3.10	Geotechnischer Bericht	58
3.10.1	Geotechnischer Untersuchungsbericht	59
3.10.2	Aus- und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	59
3.10.3	Folgerungen, Empfehlungen und Hinweise	60
3.11	Geotechnischer Entwurfsbericht	60
4	Bodenuntersuchungen im Feld	61
4.1	Allgemeines	61
4.2	Direkte Aufschlüsse	61
4.2.1	Untersuchungszweck	61
4.2.2	Untersuchungsverfahren	61
4.2.3	Regelwerke	63
4.2.4	Richtwerte für Aufschlussabstände	63
4.2.5	Mindestwerte für Aufschlusstiefen	65
4.2.6	Schurf	70
4.2.7	Untersuchungsschacht	71
4.2.8	Untersuchungsstollen	71
4.2.9	Bohrung	72
4.2.10	Verfahren zur Probenentnahme im Boden	74
4.2.11	Probenentnahme mit Entnahmegerten aus Schürfen und Bohrlöchern	78
4.2.12	Darstellung von Aufschlussergebnissen	81
4.3	Sondierungen (indirekte Aufschlussverfahren)	83
4.3.1	Allgemeines	83
4.3.2	DIN-Normen	84
4.3.3	Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2	84
4.3.4	Drucksondierungen nach DIN EN ISO 22476-1 und -12	86
4.3.5	Bohrlochrammsondierungen nach DIN 4094-2 und DIN EN ISO 22476-3	89
4.3.6	Korrelationen zwischen Sondierergebnissen und Bodenkenngößen	91
4.3.7	Wahl des Sondiergeräts	96
4.3.8	Flügelscherversuch (Felduntersuchung)	98
4.4	Plattendruckversuch	100
4.4.1	Untersuchungszweck und Versuchsbedingungen	100
4.4.2	DIN-Norm	101
4.4.3	Begriffe	101
4.4.4	Geräte für den Plattendruckversuch	101
4.4.5	Verformungsmodul E_V	102
4.4.6	Bettungsmodul k_S	104
4.5	Aussagekraft von Bodenuntersuchungen	105
4.6	Beobachtungsmethode	106

5	Untersuchungen im Labor	109
5.1	Mehrphasensysteme des Bodens	109
5.2	Korngrößenverteilung	112
5.2.1	DIN-Normen	113
5.2.2	Siebanalyse	113
5.2.3	Schlämmanalyse (Sedimentationsanalyse)	116
5.2.4	Siebung und Sedimentation	118
5.2.5	Kenngrößen der Körnungslinie	119
5.2.6	Filterregel von <i>Terzaghi</i>	120
5.2.7	Bodenklassifikation nach DIN 18196 und DIN EN ISO 14688-2	121
5.3	Wassergehalt	128
5.3.1	DIN-Normen	128
5.3.2	Definition des Wassergehalts	128
5.3.3	Mit w in Beziehung stehende Kenngrößen feuchter Böden	129
5.3.4	Mit w in Beziehung stehende Kenngrößen gesättigter Böden	130
5.3.5	Bestimmung des Wassergehalts durch Ofentrocknung	130
5.3.6	Bestimmung des Wassergehalts durch Schnellverfahren	131
5.4	Dichte	132
5.4.1	DIN-Normen	132
5.4.2	Definitionen	132
5.4.3	Mit ρ und ρ_d in Beziehung stehende Kenngrößen	132
5.4.4	Feldversuche nach DIN 18125-2	133
5.4.5	Laborversuche nach DIN EN ISO 17892-2	137
5.5	Korndichte	137
5.5.1	DIN-Normen	137
5.5.2	Definition der Korndichte	137
5.5.3	Bestimmung mit dem Kapillarpyknometer	138
5.6	Organische Bestandteile	140
5.6.1	DIN-Norm	140
5.6.2	Definition des Glühverlustes	140
5.6.3	Versuchsdurchführung und -auswertung	140
5.6.4	Bodenklassifikation nach DIN 18196	141
5.7	Kalkgehalt	142
5.7.1	DIN-Normen	142
5.7.2	Qualitative Bestimmung des Kalkgehalts	143
5.7.3	Bestimmung des Kalkgehalts nach DIN 18129	143
5.8	Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen)	144
5.8.1	DIN-Normen	144
5.8.2	Qualitative Bestimmung der Konsistenzgrenzen	145
5.8.3	Definitionen	145
5.8.4	Bestimmung der Fließgrenze	146
5.8.5	Bestimmung der Ausrollgrenze	148
5.8.6	Bestimmung der Schrumpfgrenze	149
5.8.7	Bodenklassifikation nach DIN 18196	150
5.8.8	Plastische Bereiche und ansetzbarer Sohlwiderstand nach DIN 1054	152
5.9	Proctordichte (Proctorversuch)	153
5.9.1	DIN-Norm	153
5.9.2	Definitionen	154
5.9.3	Geräte für den Proctorversuch	154
5.9.4	Durchführung und Auswertung des Proctorversuchs	155
5.9.5	Anforderungen aus Regelwerken an den Verdichtungsgrad D_{Pr}	159
5.10	Dichte nichtbindiger Böden (lockerste u. dichteste Lagerung)	162

5.10.1	Regelwerke	162
5.10.2	Definitionen und Einstufungen von Lagerungsdichten	162
5.10.3	Dichte bei dichtester Lagerung (Rütteltischversuch)	166
5.10.4	Dichte bei lockerster Lagerung (Einfüllung mit Trichter)	166
5.11	Wasserdurchlässigkeit	169
5.11.1	Allgemeines	169
5.11.2	DIN-Normen	169
5.11.3	Definitionen	169
5.11.4	Beziehungen der Filtergeschwindigkeit zum hydraulischen Gefälle	171
5.11.5	Temperatureinfluss	172
5.11.6	Versuch im Versuchszylinder mit Standrohren	173
5.11.7	Untersuchung in der Triaxialzelle (isotrope statische Belastung)	175
5.12	Einaxiale Zusammendrückbarkeit	176
5.12.1	Allgemeines	176
5.12.2	DIN-Normen	178
5.12.3	Begriffe (nach DIN 18135)	178
5.12.4	Kompressionsversuch (Oedometerversuch)	179
5.12.5	Steifemodul	184
5.12.6	Modellgesetz für Setzungszeiten	188
5.12.7	Kompressionsbeiwert	189
5.13	Scherfestigkeit	190
5.13.1	Allgemeines	190
5.13.2	DIN-Normen	191
5.13.3	Begriffe nach DIN 18137-1	191
5.13.4	Rahmenscherversuch	195
5.13.5	Triaxialversuch nach DIN 18137-2	198
5.13.6	Auswertung des Triaxialversuchs	201
5.14	Einaxiale Druckfestigkeit	206
5.14.1	DIN-Norm	206
5.14.2	Definitionen	206
5.14.3	Druck-Stauchungs-Diagramm	207
5.15	Charakteristische Werte von Bodenkenngrößen	208
5.15.1	Forderungen von DIN EN 1997-1 und DIN 1054	208
5.15.2	Werte gemäß DIN 1055-2	209
6	Spannungen und Verzerrungen	215
6.1	Darstellungen	215
6.1.1	Koordinatensysteme	215
6.1.2	Spannungs- und Deformationszustände	217
6.1.3	Spannungstransformation in kartesischen Koordinatensystemen	218
6.2	Sonderfälle	219
6.2.1	Hauptspannungen	220
6.2.2	Ebene Spannungs- und Deformationszustände	221
6.2.3	Symmetrie- und Antimetrieebenen	222
6.3	Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen	223
6.3.1	Stoffgesetze bei <i>Hooke</i> 'schem Material	223
6.3.2	Steifemodul, Elastizitätsmodul und Schubmodul	225
6.3.3	Bilinear-elastische und nichtlineare Stoffgesetze	226
6.4	Rechnerische Druckspannungen im Baugrund	226
6.4.1	Eigenlast aus trockenem oder erdfeuchtem Boden	226
6.4.2	Totale und effektive Druckspannungen	227
6.5	Vereinfachungen zur Lastausbreitung	229

6.6	Halbraum unter vertikaler Punktlast F	230
6.6.1	Spannungen und Deformationen nach <i>Boussinesq</i>	231
6.6.2	Spannungen nach <i>Fröhlich</i>	233
6.7	Halbraum unter horizontaler Punktlast F	235
6.8	Halbraumspannungen infolge vertikaler Linienlast f	237
6.8.1	Spannungen nach <i>Boussinesq</i>	237
6.8.2	Spannungen nach <i>Fröhlich</i>	238
6.9	Halbraumspannungen infolge horizontaler Linienlast f	238
6.10	Halbraumspannungen infolge vertikaler Streifenlast q	239
6.11	Halbraumspannungen unter schlaffen Rechtecklasten	240
6.12	Spannungen σ_z unter Eckpunkten schlaffer Rechtecklasten	241
6.13	Beiwerte für vertikale Normalspannungen des Halbraums	246
6.14	Spannungen σ_z infolge beliebiger Lasten	249
7	Berechnungsgrundlagen der aktuellen Normen	253
7.1	Allgemeines	253
7.2	Einwirkungen, geotechnische Kenngrößen, Widerstände	254
7.2.1	Begriffe	254
7.2.2	Einwirkungen	255
7.2.3	Geotechnische Kenngrößen	256
7.2.4	Widerstände	256
7.3	Charakteristische und repräsentative Werte	256
7.3.1	Charakteristische Werte	256
7.3.2	Repräsentative Werte	257
7.4	Grenzzustände	258
7.5	Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte	260
7.5.1	Allgemeines	260
7.5.2	Bemessungssituationen	260
7.5.3	Teilsicherheitsbeiwerte	261
7.6	Bemessungswerte	264
7.6.1	Allgemeines	264
7.6.2	Bemessungswerte von Einwirkungen	265
7.6.3	Bemessungswerte von geotechnischen Kenngrößen	266
7.6.4	Bemessungswerte von Bauwerkseigenschaften	266
7.7	Rechnerische Nachweisführung der Tragsicherheit	266
7.7.1	Verlust der Lagesicherheit (EQU)	267
7.7.2	Versagen im Tragwerk und im Baugrund (STR und GEO)	267
7.7.3	Versagen durch Aufschwimmen (UPL)	269
7.7.4	Versagen durch hydraulischen Grundbruch (HYD)	269
7.8	Beobachtungsmethode	270
8	Sohldruckverteilung	273
8.1	Allgemeines	273
8.2	Kennzeichnende Punkte und Linien	275
8.3	Bodenpressungen in der Sohlfuge nach DIN-Normen	275
8.3.1	Regelwerke	275
8.3.2	Gleichmäßige Verteilung und ansetzbare Sohlwiderstände nach DIN 1054	276
8.3.3	Geradlinige Verteilung	281

8.4	Sohldruckverteilung unter Flächengründungen	289
9	Setzungen	291
9.1	Allgemeines	291
9.2	Regelwerke	291
9.3	Begriffe	292
9.4	Kennzeichnende Punkte und Linien	294
9.5	Elastisch-isotroper Halbraum mit Einzellast	294
9.6	Elastisch-isotroper Halbraum mit konstanter Rechtecklast σ_0	296
9.7	Grenztiefe für Setzungsberechnungen	296
9.8	Halbraum mit konstanter Kreislast σ_0	299
9.9	Grundlagen für Setzungsberechnungen nach DIN 4019	299
9.9.1	Erforderliche Berechnungsunterlagen	299
9.9.2	Sohl- und Baugrundspannungen	300
9.10	Zusammendrückungsmodul (Rechenmodul) E^*	300
9.10.1	Module des linear-elastischen Halbraums	300
9.10.2	Ermittlung von E^* aus Labor- und Feldversuchen	301
9.10.3	Ermittlung von E^* aus Setzungsbeobachtungen	302
9.10.4	Wahl von E^* für Setzungsberechnungen	302
9.11	Setzungsgleichungen nach DIN 4019	303
9.11.1	Allgemeines	303
9.11.2	Setzung der Eckpunkte schlaffer, konstanter Rechtecklasten	304
9.11.3	Setzung starrer Rechteckfundamente bei zentrischer Belastung	305
9.11.4	Setzungen unter konstanter kreisförmiger Last	311
9.12	Gleichungen für Verdrehungen nach DIN 4019	312
9.12.1	Allgemeines	312
9.12.2	Setzungen bzw. Verdrehungen rechteckiger Fundamente	314
9.12.3	Verdrehung starrer Streifenfundamente	317
9.13	Indirekte Setzungsberechnung nach DIN 4019	318
9.13.1	Ablauf der Setzungsermittlung	318
9.13.2	Anwendungsbeispiel mit schlaffer, konstanter Rechtecklast (nach [33])	319
9.13.3	Setzungen und Verdrehungen infolge lotrechter Baugrundspannungen	321
9.14	Setzungen infolge horizontaler Belastungskomponenten	322
9.14.1	Ansatz waagerechter Lasten und Sohlspannungen	322
9.14.2	Anwendungsbeispiel	323
9.15	Setzungen infolge von Grundwasserabsenkung	324
9.16	Berechnung des Zeitverlaufs von Setzungen	326
9.16.1	Konsolidationssetzung	326
9.16.2	Kriechsetzung	327
9.17	Setzungsproblematik bei Hochbauten	327
9.17.1	Gegenseitige Beeinflussung	328
9.17.2	Mulden- und Sattellage	330
9.17.3	Setzungen bei inhomogenem Baugrund	330
9.18	Beanspruchungsveränderungen infolge von Setzungen	330
9.19	Zulässige Setzungsgrößen	331
10	Erddruck	337
10.1	Allgemeines	337

10.2	Regelwerke	337
10.3	Angaben nach DIN 4085	337
10.3.1	Begriffe	337
10.3.2	Erforderliche Unterlagen	340
10.3.3	Allgemeines zur Erddruckermittlung	340
10.4	Erdruchedruck	342
10.4.1	Unbelastetes horizontales Gelände	342
10.4.2	Unbelastetes geneigtes Gelände	343
10.4.3	Erdruchedruck nach DIN 4085	344
10.5	Wirkungen der Stützwandbewegung	347
10.5.1	Erddruckkräfte	348
10.5.2	Bruchfiguren	349
10.6	Zonenbruch nach <i>Rankine</i>	350
10.7	Linienbruch nach <i>Coulomb</i>	355
10.7.1	Aktiver Erddruck	355
10.7.2	Passiver Erddruck	356
10.8	Verallgemeinerung der Erddrucktheorie von <i>Coulomb</i>	357
10.8.1	Aktiver Erddruck nach <i>Müller-Breslau</i>	358
10.8.2	Passiver Erddruck nach <i>Müller-Breslau</i>	359
10.8.3	Aktiver Erddruck bei Böden mit Kohäsion	360
10.8.4	Passiver Erddruck bei Böden mit Kohäsion	360
10.9	Aktiver Erddruck gemäß DIN 4085	361
10.9.1	Voraussetzungen der Berechnungsformeln	364
10.9.2	Formeln für Erddrücke und Erddruckkräfte aus Bodeneigenlast	366
10.9.3	Verteilung des Erddrucks aus Bodeneigenlast	369
10.9.4	Gleichmäßig verteilte vertikale Last auf ebener Geländeoberfläche	372
10.9.5	Vertikale Linien- und Streifenlasten auf ebener Geländeoberfläche	378
10.9.6	Horizontale Linien- oder schmale Streifenlasten	380
10.9.7	Erddruckanteil aus Kohäsion	381
10.9.8	Mindesterddruck	383
10.10	Passiver Erddruck gemäß DIN 4085	384
10.10.1	Formeln für Erddrücke und Erddruckkräfte infolge Bodeneigenlast	387
10.10.2	Vertikale Flächenlasten auf ebener Geländeoberfläche	392
10.10.3	Erddruckanteil aus Kohäsion	395
10.10.4	Mobilisierbare Erddruckkraft	398
10.11	Grafische Bestimmung des Erddrucks nach <i>Culmann</i>	399
10.12	Sonderfälle gemäß DIN 4085	401
10.12.1	Verdichtungserddruck	401
10.12.2	Silodruck	402
10.12.3	Erddruck bei dynamischen Anregungen des Bodens	403
10.12.4	Erddruck bei vertikaler Durchströmung des Bodens	403
10.13	Zwischenwerte des Erddrucks	404
10.13.1	Erddruck zwischen aktivem Erddruck und Erdruchedruck	404
10.13.2	Erddruck zwischen Erdruchedruck und passivem Erddruck	404
11	Grundbruch	405
11.1	Allgemeines	405
11.2	DIN-Normen	405
11.3	Begriffe	406
11.4	Einflussgrößen und Modelle des Versagenszustands	406

11.5	Theorie von <i>Prandtl</i>	406
11.5.1	Voraussetzungen	406
11.5.2	Spannungs- und Winkelbeziehungen in den <i>Rankine</i> -Zonen	407
11.5.3	Bedingungen in der Übergangszone, <i>Prandtl</i> -Zone	408
11.5.4	Grundbruchformel nach <i>Prandtl</i> , Lösung für die Übergangszone	408
11.6	Verfahren von <i>Buisman</i>	410
11.7	Grundbruchsicherheit nach DIN 1054 und DIN 4017	411
11.7.1	Allgemeines	411
11.7.2	Anwendungserfordernisse	413
11.7.3	Kenngößen des Baugrunds	413
11.7.4	Nachweis der Grundbruchsicherheit gemäß DIN 1054 und DIN EN 1997-1	414
11.7.5	Einwirkungen	414
11.7.6	Grundbruchwiderstände	416
11.7.7	Grundwerte der Tragfähigkeitsbeiwerte und Formbeiwerte	417
11.7.8	Lastneigungsbeiwerte	421
11.7.9	Geländeneigungsbeiwerte	425
11.7.10	Sohlneigungsbeiwerte	426
11.7.11	Berücksichtigung von Bermenbreiten	427
11.7.12	Durchstanzen	428
11.7.13	Abmessungen von Gleitkörpern unter Streifenfundamenten	429
12	Gleiten und Kippen	433
12.1	Gleiten	433
12.1.1	Allgemeines	433
12.1.2	DIN-Normen	433
12.1.3	Gleitsicherheit von Flach- und Flächengründungen nach DIN 1054	434
12.1.4	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054	437
12.1.5	Maßnahmen bei nicht erfüllter Gleitsicherheit	438
12.2	Kippen	438
12.2.1	Allgemeines	438
12.2.2	DIN-Normen	440
12.2.3	Kipsicherheit von Flach- und Flächengründungen nach DIN 1054	440
12.2.4	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054	441
12.2.5	Ungleichmäßige Setzungen bei hohen Bauwerken	444
13	Geländebruch	445
13.1	Allgemeines	445
13.2	DIN-Normen	445
13.3	Begriffe nach DIN 4084	445
13.4	Erforderliche Unterlagen für Berechnungen gemäß DIN 4084	446
13.5	Sonderfall der ebenen Gleitfläche	447
13.6	Lamellenverfahren (schwedische Methode)	449
13.7	Berechnungen nach Normen	451
13.7.1	Anwendungsbereich	451
13.7.2	Grenzzustand, Einwirkungen und Widerstände	452
13.7.3	Grenzzustandsbedingung	454
13.7.4	Arten der Bruchmechanismen und besondere Bedingungen	455
13.7.5	Bruchmechanismen mit einem Gleitkörper oder zusammengesetzt	456
13.7.6	Lamellenverfahren mit kreisförmig gekrümmten Gleitlinien	457
13.7.7	Lamellenfreie Verfahren mit kreisförmigen und geraden Gleitlinien	459
13.7.8	Zusammengesetzte Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien	461
13.7.9	Anwendungsbeispiele (mit Programm berechnet)	463

13.7.10	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054 und DIN 4084	466
14	Aufschwimmen	467
14.1	Maßnahmen bei zu geringer Sicherheit gegen Aufschwimmen	468
14.2	Regelwerke	469
14.3	Grenzzustand des Aufschwimmens nach DIN 1054	469
14.3.1	Allgemeines	469
14.3.2	Nichtverankerte Konstruktionen	469
14.3.3	Verankerte Konstruktionen	471
14.3.4	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen nach EAB	474
15	Methode der Finiten Elemente (FEM)	483
15.1	Allgemeines	483
15.2	Weggrößenverfahren	484
15.2.1	Vektoren des Gesamtmodells	485
15.2.2	Einheitsknotenbewegungen am Gesamtsystem	486
15.2.3	Biegestabelement	487
15.2.4	Steifigkeitsmatrix des Gesamtsystems	495
15.3	Stoffgesetze	499
15.3.1	Ebener Deformationszustand	501
15.3.2	Ebener Spannungszustand	502
15.4	Scheibenelemente	503
15.4.1	Einheitsbewegungen der Elementknoten	503
15.4.2	Ansatzfunktionen für Elementverschiebungen	504
15.4.3	Verzerrungs- und Spannungsvektor des Elements	506
15.5	Symmetrische und antimetrische Systeme	507
15.6	Anwendungsbeispiel	508
15.6.1	Aufgabenstellung und Modellierung	508
15.6.2	Berechnungsergebnisse am Gesamtmodell	509
15.6.3	Berechnungsergebnisse am halben Modell	513
15.6.4	Antimetrie und Superposition	515
16	Europäische Normung in der Geotechnik	517
16.1	Allgemeines	517
16.2	Deutsche und europäische Normung	517
16.3	Eurocode 7	519
16.3.1	Nationaler Anhang (NA)	520
16.3.2	Deutsche Normen und Empfehlungen, die DIN EN 1997-1 ergänzen	520
16.4	Europäische geotechnische Ausführungsnormen	521
16.5	Weitere europäische geotechnische Normen	521
16.6	Bauaufsichtliche Einführung	522
	Literaturverzeichnis	525
	Firmenverzeichnis	541
	Stichwortverzeichnis	543

1 Einteilung und Benennung von Böden

1.1 Bodenmechanische und geologische Begriffe

1.1.1 Bezeichnungen

Die nachstehenden Bezeichnungen sind zum Teil DIN EN ISO 14688-1 [119] und DIN EN ISO 14689-1 [121] entnommen.

Magma glutflüssige, gashaltige Gesteinsschmelze unterhalb der festen Erdkruste (Erstarrungskruste); magmatische Strömungen können tektonische Bewegungen der Erstarrungskruste (Faltungen, Überschiebungen, Horizontalverschiebungen, Klüfte, Spalten usw.) auslösen.

Sedimentation (Ablagerung) Absetzung von Gesteinsmaterial in „sekundären Lagerstätten“, das durch Verwitterung zerstört (Frostsprengung, Temperaturschwankungen, chemische Einflüsse wie die von Salzen, Säuren, Laugen usw., biologische Einflüsse wie die von Kleinstlebewesen oder Pflanzenwurzeln) und durch Abtragungskräfte (Schwerkraft, Wasser, Wind, Eis und Schnee) aus seiner „primären Lagerstätte“ (ursprünglichen Lagerstätte) fortbewegt wurde.

Metamorphose Gesteinsumwandlung infolge gebirgsbildender Vorgänge (Änderung hoher Drücke und hoher Temperaturen, aber keine Einschmelzung).

Fels (Festgestein) natürlich entstandene Ansammlung konsolidierter, verkitteter oder in anderer Form verbundener Mineralien, die ein Gestein von größerer Druckfestigkeit oder Steifigkeit bilden als Boden.

Trennflächen Schicht-, Kluft-, Schieferungs-, Störungs-, Scherflächen.

Gebirge Fels einschließlich Trennflächen und Verwitterungsprofilen.

Gestein vom Trennflächengefüge begrenzter Fels. Zu unterscheiden sind als Gesteinsarten

- *magmatische Gesteine*
 - *Plutonite (Tiefengesteine)* innerhalb der Erdkruste erstarrtes und kristallisiertes Magma (z. B. Granit, Diorit, Gabbro),
 - *Vulkanite (Ergussgesteine)* z. B. durch Vulkanausbrüche an die Erdoberfläche gelangtes und dort erstarrtes Magma (z. B. Basalt (Bild 1-1), Diabas, Porphyrit, vulkanisches Glas),
- *Sedimentgesteine* Trümmergesteine, Ausscheidungssedimente, organische oder organogene Ablagerungen wie z. B. Braunkohle, Dolomitstein, Kalkstein, Kreidestein, Mergelstein, Salzgestein, Sandstein, Steinkohle usw.,
- *metamorphe Gesteine* mechanisch und thermisch umgewandelte Gesteine wie Glimmerschiefer, Gneis, Granulit, Marmor usw.

Boden (Lockergestein) Gemisch mineralischer Bestandteile in Form einer natürlich entstandenen Ablagerung, aber fallweise organischen Ursprungs, das sich mit geringem Aufwand separieren lässt und unterschiedliche Anteile von Wasser und Luft (fallweise anderen Gasen) enthält. Der Begriff wird auch für Auffüllungen, umgelagerten Boden oder anthropogenes Material verwendet, die ähnliches Verhalten aufweisen (z. B. zerkleinertes Gestein, Hochofenschlacken und Flugaschen). Zu Ursprung und Bildung von Lockergesteinen vgl. auch [156].

Anmerkung: Böden weisen teilweise auch felsartiges Gefüge auf, besitzen aber normalerweise eine geringere Festigkeit als Fels.

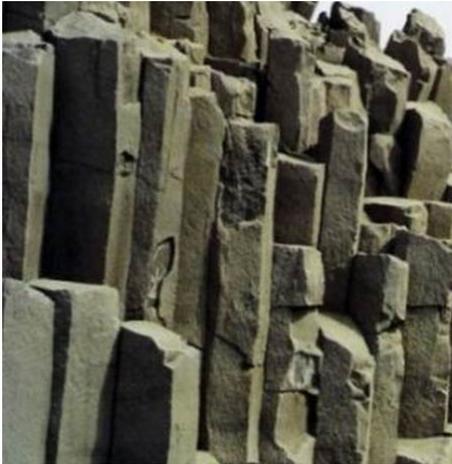


Bild 1-1 Basaltsäulen in Island
(Foto: Silke Burkhardt)

1.1.2 Erdaufbau, Erdzeitalter und Gesteinsbildungen

In der Geotechnik zu behandelnde Problemstellungen betreffen durchweg Maßnahmen im oberflächennahen Bereich der Erdkruste (Bild 1-2). Neben der Einbindung der Baukonstruktionen in den Baugrund (vgl. Abschnitt 1.1.3) ist dabei auch die Tiefe zu berücksichtigen, bis zu der der Boden durch das Bauwerk bzw. die Baumaßnahme noch nennenswert beeinflusst wird. Im Regelfall liegt die entsprechende Gesamttiefe deutlich unter 100 m. Aus Bild 1-2 geht hervor, in welchem Verhältnis solche Tiefen zur Mächtigkeit der verschiedenen Erdzonen stehen.

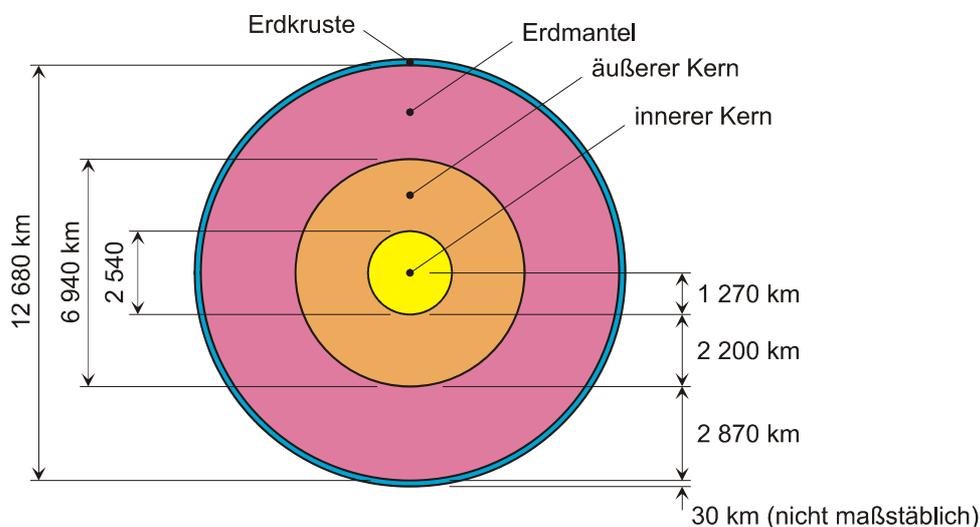


Bild 1-2 Erdaufbau in stark vereinfachter Form; in der Literatur zu findende Abmessungen weisen geringfügige Abweichungen zu den angegebenen Zahlenwerten auf

Im Laufe der Erdgeschichte haben sich die Bedingungen für die Bildung von Gesteinen immer wieder verändert. Tabelle 1-1 gibt entsprechende zeitliche Zuordnungen für den süddeutschen Raum an (die in Mill. Jahren angegebenen Zahlen sind leicht gerundet). Für andere Räume geltende Gegebenheiten lassen sich z. B. bei den jeweiligen Geologischen Landesämtern abfragen.

Tabelle 1-1 Erdzeitalter und hauptsächliche Gesteinsbildungen im süddeutschen Raum (stark generalisiert); nach [153]

System (Formation)	Beginn (Mill. Jahre)	Serie (Abteilung)	Stufe	Hauptsächliche Gesteinsbildungen
Quartär	2,6	Holozän		Lockerböden, Faulschlamm, Moore, Torf
		Pleistozän		Löss, Moränen, Schotter, Bändertone, Torf
Tertiär	65,5	Miozän Oligozän		Mergel, Sande, Tone, Konglomerate, Basalte, Quarzite, Flysch
Kreide	145,5	Oberkreide		Mergelstein, Sandstein
Jura	199,6	Malm (Weißer Jura)		Kalksteine, Mergelsteine
		Dogger (Brauner Jura)		Tonsteine, Eisenoolithe, Kalksteine, Sandsteine
		Lias (Schwarzer Jura)		Wechselfolge aus Ton-, Mergel- und Sandsteinen, Kalksteinen und Schiefer-tonen
Trias	251	Keuper	Oberer Keuper (Rhät)	Tonstein, Sandstein
			Mittlerer Keuper (Gipskeuper)	Tonstein, Gips, Anhydrit, Sandstein, Steinmergel, Dolomitstein
			Unterer Keuper (Lettenkeuper)	Sandstein, Mergelstein, Dolomitstein
		Muschelkalk	Oberer Muschelkalk	Kalk- und Mergelsteine, Dolomitstein
			Mittlerer Muschelkalk	Dolomitstein, Tonstein, Salzgesteine, Gips
			Unterer Muschelkalk (Wellengebirge)	Kalkstein, Dolomitstein, Mergelstein
		Buntsandstein	Oberer Buntsandstein (Röt)	Tonsteine, Gips
			Mittlerer Buntsandstein (Hauptbuntsandstein)	Sandsteine, Tonsteine
			Unterer Buntsandstein (Bröckelschiefer)	Sandsteine, Tonsteine
Perm	299	Zechstein Rotliegendes		Schiefertone, Arkosesandsteine, Konglomerate, Tonsteine, Mergelsteine, Dolomitsteine, Porphyre (Süddeutschland ohne Salzlager)
Karbon	359			Grauwacken, Arkosesandsteine, Porphyre, Konglomerate, Schiefertone
Devon	416			Schiefer
Altpaläozoikum	542			Granite, Gneise

1.1.3 Nutzung von Boden oder Fels

Baugrund Boden oder Fels (einschließlich aller Inhaltsstoffe wie z. B. Grundwasser, Luft und Kontaminationen), in dem Bauwerke gegründet oder eingebettet werden sollen bzw. gegründet oder eingebettet sind oder der durch Baumaßnahmen beeinflusst wird (Bild 1-3).

Baustoff Boden oder Fels, der bei der Errichtung von Bauwerken oder Bauteilen Verwendung findet (Bild 1-3).

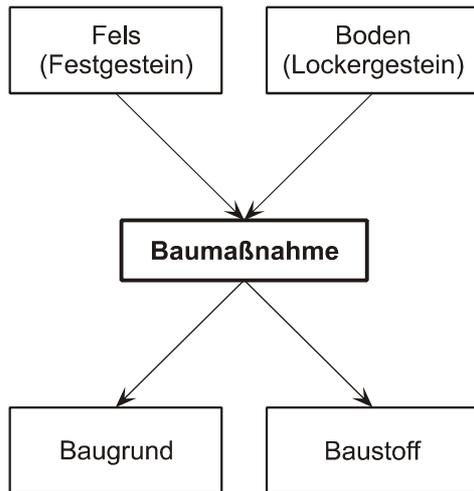


Bild 1-3 Bezeichnungsveränderungen infolge von Baumaßnahmen

Hinweis: Zur Unterscheidung zwischen Boden (Lockergestein) und Fels (Festgestein) vgl. auch Tabelle 5-32.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass in DIN EN 1997-1, 1.5.2.3 [100] „Baugrund“ definiert wird als Boden, Fels und Auffüllung, die vor Beginn der Baumaßnahme vor Ort vorhanden sind.

1.2 Normen und Kriterien zur Einteilung

Die Klassifikation und Benennung von Böden erfolgt nach sehr unterschiedlichen Gesichtspunkten. Dies lässt sich u. a. schon daran erkennen, dass zu diesem Thema entsprechende Ausführungen in so verschiedenen DIN-Normen wie

- DIN 1054 [20], DIN 4023 [42], DIN 18196 [83], DIN 18300 [84], DIN 19682-1 [87], DIN 19682-2 [88], DIN 19682-12 [91], DIN EN 1997-1 [100], DIN EN ISO 14688-1 [119], DIN EN ISO 14688-2 [120], DIN EN ISO 14689-1 [121] und DIN EN ISO 22475-1 [128]

zu finden sind. Als Einteilungskriterien für die Böden dienen dabei z. B.

- ihre Entstehung
 - Verwitterung (Zerstörung der Gesteine durch physikalische, chemische und biologische Vorgänge; vgl. Abschnitt 1.1.1),
 - Erosion (Abtragung),
 - Frachtung (Transport) durch Wind (äolische Böden), Eis (glaziale Böden) oder Wasser (Geröll- und Schwebfrachtung),
 - Sedimentation (vgl. Abschnitt 1.1.1),
- die Menge und der Zustand ihrer organischen Bestandteile (brennbar, schwelbar),
- die Größe und der Anteil ihrer Körner
 - Siebkorn (Korngröße > 0,063 mm),

- Schlämmkorn (Korngröße $\leq 0,063$ mm),
- Korngrößenverteilung;
- ihre bodenmechanischen Eigenschaften, wie
 - Dichte,
 - Lagerungsdichte,
 - Korngrößenverteilung,
 - Wasserdurchlässigkeit,
 - Kohäsion,
 - Scherfestigkeit,
 - Zusammendrückbarkeit,
- ihre Bearbeitbarkeit
 - Lösen und Laden,
 - Fördern,
 - Einbauen und Verdichten,
- ihr unterschiedliches Verhalten bei Belastung
 - Fels,
 - gewachsener Boden (Lockergestein),
 - geschütteter (aufgeschütteter oder aufgespülter) Boden,
- ihre Verwendbarkeit für bautechnische Zwecke (Aufteilung in Gruppen mit annähernd gleichem stofflichem Aufbau und ähnlichen bautechnischen Eigenschaften, wie z. B. Scherfestigkeit, Verdichtungsfähigkeit, Frostempfindlichkeit),
- ihre Erkennbarkeit bei Feldversuchen (auf der Baustelle), wie z. B.
 - Bodenfarbe (Farbensprache mit oder ohne Farbtafeln; Näheres siehe auch DIN 19682-1),
 - Plastizität (Trockenfestigkeitsversuch, Knetversuch; siehe Abschnitte 1.6.3 und 1.6.5),
 - Kalkgehalt (Auftropfen von verdünnter Salzsäure; siehe Abschnitt 5.7.2),
 - Konsistenz (Verformbarkeit des Bodens mit der Hand; siehe Abschnitt 1.6.4).

Mit dem Bild 1-4 wird gezeigt, wie eiszeitliche Frachtvorgänge die Landschaft formen können und dabei die Beschaffenheit des Bodens verändern (glaziale Böden). Mit den nachstehenden Definitionen werden in Bild 1-4 verwendete Begriffe erläutert.

Drumlin (Plural: *Drumlins*) zur Grundmoränenlandschaft gehörender länglicher Hügel mit tropfenförmigem Grundriss und einer Längsachse, die in Richtung der Eisbewegungslinie verläuft.

Wallberg wallförmig sedimentiertes Material, das vom Eis bewegt wurde.

Kame (Plural: *Kames*) Erhebung in einer glazialen Aufschüttungslandschaft, die am Eisrand durch Ablagerung des vom Eis bewegten Materials gegen ein Widerlager (z. B. Toteisblock) entstanden ist.

Soll (Plural: *Sölle*) kleines „Wasserloch“, dessen Entstehung auf das Abschmelzen eines verbliebenen Toteisblocks zurückzuführen ist (von Moränenmaterial überdeckt, war dieser für lange Zeit thermisch isoliert) und das vor allem in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg zu finden ist (Bild 1-5).

In Tabelle 1-2 sind die drei letzten großen Eiszeiten (geologisch: „Kaltzeiten“) im norddeutschen Raum hinsichtlich ihrer zeitlichen Abfolge zusammengestellt.

Tabelle 1-2 Die drei letzten großen Eiszeiten im norddeutschen Raum (nach Angaben des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe des Bundeslandes Brandenburg; Stand 2005)

	Zeiten (in 10 ³ Jahren vor der Gegenwart)		
	Beginn	Ende	Dauer
Weichsel-Kaltzeit	115	10,2	104,8
Saale-Kaltzeit	347	128	219
Elster-Kaltzeit	475	370	105



Bild 1-5 Soll in Mecklenburg-Vorpommern (durch Abschmelzen eines Toteisblocks entstanden)

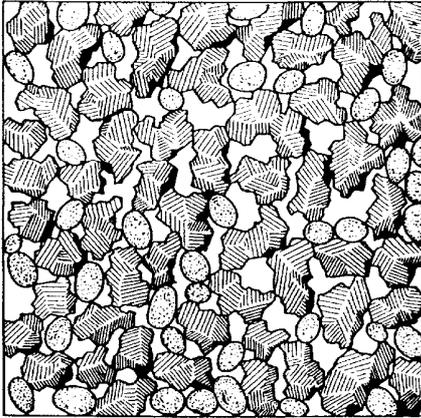
1.3 Einteilung nach Korngrößen und organischen Bestandteilen

1.3.1 Kornstrukturen grob- und feinkörniger Böden

Die mineralischen Partikel von Böden, und insbesondere von natürlich entstandenen (gewachsenen) Böden, sind „Körner“ mit unterschiedlichen Größen, Formen und Materialbeschaffenheiten.

Böden, deren einzelne Körner mit bloßem Auge erkennbar sind (Sande, Kiese, Schotter usw.), werden „grobkörnig“ und vereinfachend „nichtbindig“ oder „rollig“ genannt (Bild 1-6). Neben unterschiedlichen Formen, mit Bezeichnungen wie z. B. „kugelig“, „plattig“ und „stäbchenförmig“ (Bild 1-7), weisen diese Körner auch sehr verschiedene Oberflächenstrukturen auf (Bild 1-7).

Böden, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sich ihre einzelnen Körner nicht mehr mit bloßem Auge erkennen lassen (Tone, Schluffe usw.), werden als „feinkörnig“ und, bei Korngrößen der Böden von unter $\approx 0,02$ mm, vereinfachend als „bindig“ oder „kohäsiv“ bezeichnet.



 eckig-kantige Körnung
  abgerundete Körnung

Bild 1-6 Einzelkornstruktur eines grobkörnigen Bodens (nach [244])

Im Gegensatz zu den grobkörnigen (nichtbindigen) Böden weisen Tone, Schluffe (Fein- und Mittelschluffe) und bindige Mischböden (z. B. Mergel, Lehm) plastische Eigenschaften auf.



Bild 1-7 Bezeichnungen für Kornform (oben) und Kornrauigkeit (unten) (nach [172], Kapitel 1.3)

Nach DIN EN ISO 14688-1 sind zur Bezeichnung der Kornform die in Tabelle 1-3 zusammengestellten Begriffe zu verwenden, die in der Regel nur für Kies oder gröberes Material benutzt werden.

Tabelle 1-3 Begriffe für die Bezeichnung der Kornform (nach DIN EN ISO 14688-1, Tabelle 4)

Rundung	Kornform Form	Oberflächenstruktur
scharfkantig	kubisch	rau
kantig	flach (plattig)	glatt
kantengerundet	länglich (stängelig)	
angerundet		
gerundet		
gut gerundet		

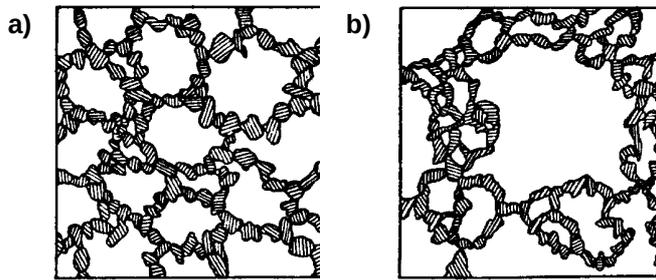
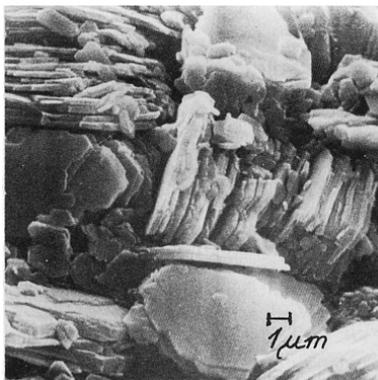
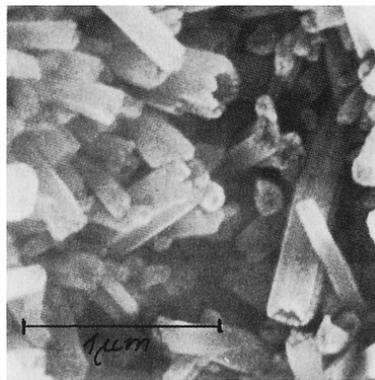


Bild 1-8 Waben- (a) und Flockenstruktur (b) von Tonen, nach Terzaghi (aus [261])

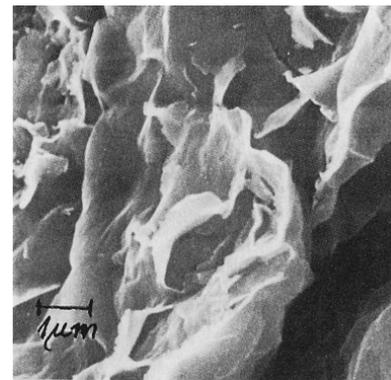
Nach [172], Kapitel 1.3 neigen insbesondere in Wasser aufgeschlämmte Tone beim Absinken dazu, sich mit ihren Einzelementen im Süßwasser in kartenhausartigen (wabenhöflichen) und im Salzwasser in bandartigen (flockenförmigen) Strukturen abzulagern (Bild 1-8). Das durch weitere Materialauflagerungen entstehende Sediment weist im Bereich solcher Aggregationsformen sehr viel Hohlraum auf. Insgesamt entstehen bei der Sedimentation mehr oder weniger dichte Gefügestrukturen, wie sie in Bild 1-9 anhand einiger Beispiele gezeigt sind. Hinsichtlich der Vorgänge, die die chemische Zusammensetzung des Wassers beeinflussen, sowie der an den Teilchenoberflächen auftretenden elektrischen Ladungskräfte und der auf die Teilchen wirkenden elektrostatischen und molekularen Anziehungskräfte sei z. B. auf [17] und besonders auf [192] verwiesen.



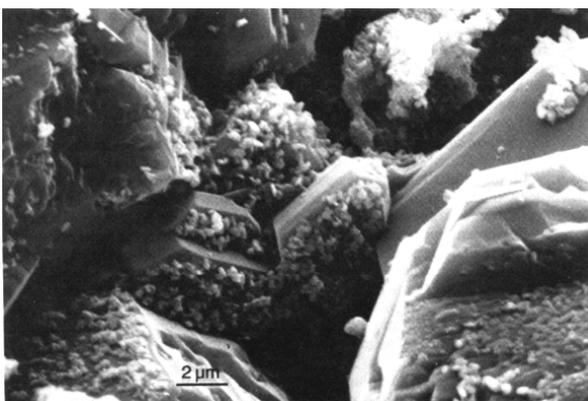
a) Kaolin



b) Halloysit



c) Montmorillonit



d) tafeliger Gibbsite bedeckt mit Hämatit

Bild 1-9 Rasterelektronische Aufnahmen von Tonmineralien (Bilder a, b und c aus [170], Kapitel 1.5 und Bild d aus [192])

1.3.2 Einteilung reiner Bodenarten

In Tabelle 1-4 wird die Einteilung und Benennung gemäß DIN EN ISO 14688-1, 4.2 von Böden mit Korngrößen bis zu 630 mm und mehr gezeigt. Die Einteilung definiert „reine“ Bodenarten, die aus nur einem der aufgeführten Korngrößenbereiche bestehen und nach diesem benannt werden (z. B. Kies (Gr), Grobsand (CSa), Feinschluff (FSi), Ton (Cl)).

Tabelle 1-4 Einteilung und Benennung von Böden nach Korngrößen (nach DIN EN ISO 14688-1, Tabelle 1; Bemerkungen nach [41])

Bereich	Benennung (Kurzzeichen)	Korngröße (in mm)	Bemerkungen
sehr grobkörniger Boden	großer Block (LBo)	> 630	–
	Block (Bo)	> 200 bis 630	> Kopfgröße
	Stein (Co)	> 63 bis 200	< Kopfgröße > Hühnereier
grobkörniger Boden	Kies (Gr)	> 2 bis 63	< Hühnereier > Streichholzköpfe
	Grobkies (CGr)	> 20 bis 63	< Hühnereier > Haselnüsse
	Mittelkies (MGr)	> 6,3 bis 20	< Haselnüsse > Erbsen
	Feinkies (FGr)	> 2 bis 6,3	< Erbsen > Streichholzköpfe
	Sand (Sa)	> 0,063 bis 2	< Streichholzköpfe, aber Einzelkorn noch erkennbar
	Grobsand (CSa)	> 0,63 bis 2	< Streichholzköpfe > Gries
	Mittelsand (MSa) Feinsand (FSa) *	> 0,2 bis 0,63 > 0,063 bis 0,2	etwa Gries < Gries, aber Einzelkorn noch erkennbar
feinkörniger Boden	Schluff (Si)	> 0,002 bis 0,063	Einzelkörner mit bloßem Auge nicht mehr erkennbar
	Grobschluff (CSi) *	> 0,02 bis 0,063	
	Mittelschluff (MSi)	> 0,0063 bis 0,02	
	Feinschluff (FSi)	> 0,002 bis 0,0063	
	Ton (Cl)	≤ 0,002	

*) Sand mit Korngrößen $\leq 0,1$ mm und Grobschluff werden auch als „Mehlsand“ bezeichnet.

In Ergänzung zu den Einteilungen in Tabelle 1-4 ist zu bemerken, dass zwar alle Bodenteilchen mit Korngrößen $< 0,002$ mm (< 2 μm) in die Kategorie „Ton“ eingeordnet werden, Tone aber erhebliche Unterschiede hinsichtlich ihrer Teilchengröße aufweisen können. Nach [192] liegen mittlere „Korngrößen“ von

- Kaoliniten zwischen 0,5 und 4 μm ,
- Illiten, Glaukoniten und Seladoniten $< 0,6$ μm und
- Montmorilloniten $< 0,2$ μm .

Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass die nach DIN EN ISO 14688-1 zu verwendenden Kurzzeichen zur Benennung der Böden nicht mit den Kurzformen übereinstimmen, die in DIN 4023 für die zeichnerische Darstellung angegeben werden (bezüglich der entsprechenden Begründung siehe DIN 4023, Anhang B). Gemäß dem Nationalen Anhang von DIN EN ISO 14688-1 ist sowohl die Verwendung der Kurzzeichen nach DIN EN ISO 14688-1 als auch die der Kurzformen nach