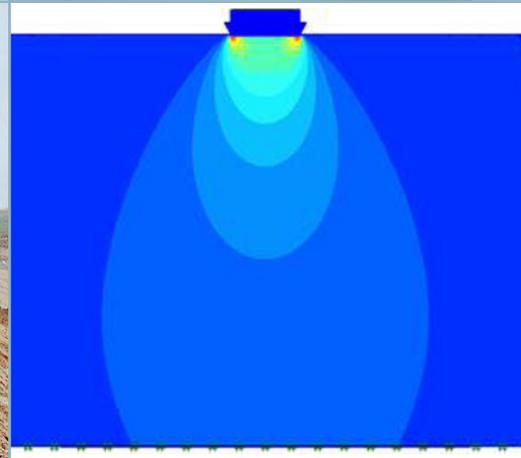
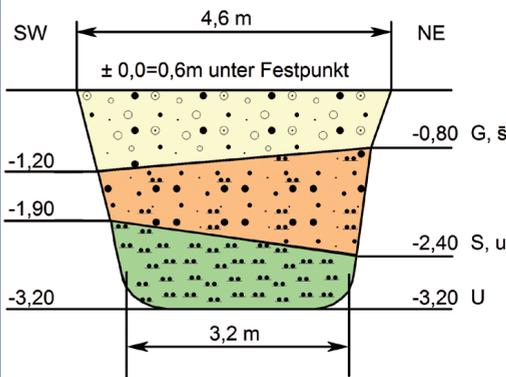


Geotechnik

Bodenmechanik

Gerd Möller

Bauingenieur-Praxis



Gerd Möller

Geotechnik
Bodenmechanik

2. Auflage

Geotechnik

Bodenmechanik

Gerd Möller

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

Titelbilder:

Schurfaufnahme nach DIN 4022/4023 (Vektorsignaturen),
erstellt mit der Software GeODin®, Fugro Consult GmbH, Berlin
Zwei Triaxialprüfstände des Fa. Stenzel, Prof. Dr.-Ing. Möller
Böschungbruch an der Neubaustrecke der BAB A20,
Ingenieurbüro Dr.-Ing. D. Keck, Plau am See
Effektive Vertikalspannungen infolge Fundamentbelastung,
Ergebnis der FEM-Software Plaxis 2D, M. Eng. Dipl.-Ing. Dennis Morauf,
Beuth Hochschule für Technik Berlin

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.

© 2013 Wilhelm Ernst & Sohn,
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,
Rotherstr. 21, 10245 Berlin, Germany

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

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

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

Umschlaggestaltung: stilvoll® | Werbe- und Projektagentur, Kappelrodeck
Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin
Druck und Verarbeitung: betz-Druck GmbH, Darmstadt

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

2. vollständig überarbeitete Auflage
Print ISBN: 978-3-433-02996-1
ePDF ISBN: 978-3-433-60284-3
ePub ISBN: 978-3-433-60285-0
eMob ISBN: 978-3-433-60283-6
oBook ISBN: 978-3-433-60286-7

In Erinnerung an
Professor Helmut Neumeuer

Vorwort

Vor einigen Jahren wurde in den Bauordnungen der Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland das Konzept der globalen Sicherheiten durch das der Teilsicherheiten ersetzt. Dieser Schritt erfolgte fast ausschließlich auf der Basis Deutscher Normen, die in die „Liste der Technischen Baubestimmungen“ aufgenommen wurden (die Ausnahme war DIN EN 1535). In diesem Jahr (2012) wurde die Liste aktualisiert und enthält jetzt für den Grundbau zwölf Normen, von denen sechs Europäische Normen sind. Fünf Deutsche Normen ergänzen die Europäischen Normen, und nur eine Norm (DIN 4123) ist eine „reine“ Deutsche Norm. Diese Normen sind im Rahmen neuer Bauvorhaben fortan zu beachten, eine Übergangszeit wurde nicht eingeräumt.

Für die in der Praxis tätigen Ingenieurinnen und Ingenieure ist dies verbunden mit dem Kennenlernen vieler neuer Normen. Da nun zur gleichen Thematik oftmals mehrere Normen gleichzeitig zu berücksichtigen sind und dieses als wenig anwenderfreundlich zu bewerten ist, wurden auf dem Gebiet der Geotechnik zwei Normen-Handbücher veröffentlicht, mit denen das Arbeiten mit den 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.

Entsprechend dem 2012 erschienenen Teil „Geotechnik Grundbau“ wird mit dem vorliegenden Buch eine Unterlage zur Verfügung gestellt, die nicht zuletzt das Ziel verfolgt, den Umgang mit dem neuen 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 erlernen.

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

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

Berlin im November 2012

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	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	24
2.1	Allgemeines	24
2.2	Regelwerke	25
2.3	Begriffe	25
2.4	Kapillarwasser	27
2.5	Porenwinkelwasser	29
2.6	Hyroskopisches Wasser	30
2.7	Betonangreifende Grundwässer und Böden	30
2.8	Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse	32
2.9	Grundwassermessstellen	34
2.10	Wasserdurchlässigkeit von Böden	39
3	Geotechnische Untersuchungen	40
3.1	Untersuchungsziel	40
3.2	Regelwerke	41
3.3	Verantwortung für die Untersuchungen	41
3.4	Planung der Untersuchungen	41
3.5	Untersuchungsverfahren	42
3.6	Untersuchungen von Baugrund und Grundwasser	44
3.6.1	Voruntersuchungen	45
3.6.2	Hauptuntersuchungen	46
3.6.3	Baubegleitende Untersuchungen	47

3.6.4	Baugrund- und Bauwerksüberwachung nach der Bauausführung	48
3.7	Untersuchungen von Boden und Fels als Baustoff	48
3.7.1	Voruntersuchungen	49
3.7.2	Hauptuntersuchungen	49
3.7.3	Baubegleitende Untersuchungen	50
3.8	Geotechnische Kategorien (GK)	50
3.8.1	Geotechnische Kategorie GK 1	50
3.8.2	Geotechnische Kategorie GK 2	51
3.8.3	Geotechnische Kategorie GK 3	53
3.9	Erforderliche Maßnahmen	56
3.9.1	Geotechnische Kategorie GK 1	56
3.9.2	Geotechnische Kategorie GK 2	56
3.9.3	Geotechnische Kategorie GK 3	57
3.10	Geotechnischer Bericht	57
3.10.1	Geotechnischer Untersuchungsbericht	58
3.10.2	Aus- und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	58
3.10.3	Folgerungen, Empfehlungen und Hinweise	59
3.11	Geotechnischer Entwurfsbericht	59
4	Bodenuntersuchungen im Feld	60
4.1	Allgemeines	60
4.2	Direkte Aufschlüsse	60
4.2.1	Untersuchungszweck	60
4.2.2	Untersuchungsverfahren	60
4.2.3	Regelwerke	62
4.2.4	Richtwerte für Aufschlussabstände	62
4.2.5	Mindestwerte für Aufschlusstiefen	64
4.2.6	Schurf	70
4.2.7	Untersuchungsschacht	70
4.2.8	Untersuchungstollen	71
4.2.9	Bohrung	71
4.2.10	Verfahren zur Probenentnahme im Boden	74
4.2.11	Probenentnahme mit Entnahmegewerten aus Schürfen und Bohrlöchern	77
4.2.12	Darstellung von Aufschlussergebnissen	80
4.3	Sondierungen (indirekte Aufschlussverfahren)	82
4.3.1	Allgemeines	82
4.3.2	DIN-Normen	83
4.3.3	Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2	83
4.3.4	Drucksondierungen nach DIN 4094-1	85
4.3.5	Bohrlochrammsondierungen nach DIN 4094-2	88
4.3.6	Korrelationen zwischen Sondierergebnissen und Bodenkenngrößen	89
4.3.7	Wahl des Sondiergeräts	94
4.3.8	Flügelsondierung (Felduntersuchung)	95
4.4	Plattendruckversuch	98
4.4.1	Untersuchungszweck und Versuchsbedingungen	98
4.4.2	DIN-Norm	98
4.4.3	Begriffe	99
4.4.4	Geräte für den Plattendruckversuch	99
4.4.5	Verformungsmodul E_V	100
4.4.6	Bettungsmodul K_S	102
4.5	Aussagekraft von Bodenuntersuchungen	103
4.6	Beobachtungsmethode	103

5	Untersuchungen im Labor	106
5.1	Mehrphasensysteme des Bodens	106
5.2	Korngrößenverteilung	109
5.2.1	DIN-Normen	110
5.2.2	Siebanalyse	110
5.2.3	Schlämmanalyse (Sedimentationsanalyse)	113
5.2.4	Siebung und Sedimentation	115
5.2.5	Kenngrößen der Körnungslinie	116
5.2.6	Filterregel von <i>Terzaghi</i>	117
5.2.7	Bodenklassifikation nach DIN 18196 und DIN EN ISO 14688-2	118
5.3	Wassergehalt	125
5.3.1	DIN-Normen	125
5.3.2	Definition des Wassergehalts	125
5.3.3	Mit w in Beziehung stehende Kenngrößen feuchter Böden	126
5.3.4	Mit w in Beziehung stehende Kenngrößen gesättigter Böden	127
5.3.5	Bestimmung des Wassergehalts durch Ofentrocknung	127
5.3.6	Bestimmung des Wassergehalts durch Schnellverfahren	128
5.4	Dichte	128
5.4.1	DIN-Normen	129
5.4.2	Definitionen	129
5.4.3	Mit ρ und ρ_d in Beziehung stehende Kenngrößen	129
5.4.4	Feldversuche nach DIN 18125-2	130
5.4.5	Laborversuche nach DIN 18125-1	134
5.5	Korndichte	134
5.5.1	DIN-Normen	134
5.5.2	Definition der Korndichte	134
5.5.3	Bestimmung mit dem Kapillarpyknometer	135
5.6	Organische Bestandteile	137
5.6.1	DIN-Norm	137
5.6.2	Definition des Glühverlustes	137
5.6.3	Versuchsdurchführung und -auswertung	137
5.6.4	Bodenklassifikation nach DIN 18196	138
5.7	Kalkgehalt	139
5.7.1	DIN-Normen	139
5.7.2	Qualitative Bestimmung des Kalkgehalts	140
5.7.3	Bestimmung des Kalkgehalts nach DIN 18129	140
5.8	Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen)	141
5.8.1	DIN-Normen	141
5.8.2	Qualitative Bestimmung der Konsistenzgrenzen	142
5.8.3	Definitionen	142
5.8.4	Bestimmung der Ausrollgrenze	145
5.8.5	Bestimmung der Schrumpfgrenze	145
5.8.6	Bodenklassifikation nach DIN 18196	146
5.8.7	Plastische Bereiche und ansetzbarer Sohlwiderstand nach DIN 1054	148
5.9	Proctordichte (Proctorversuch)	150
5.9.1	DIN-Norm	150
5.9.2	Definitionen	150
5.9.3	Geräte für den Proctorversuch	150
5.9.4	Durchführung und Auswertung des Proctorversuchs	151
5.9.5	Anforderungen aus Regelwerken an den Verdichtungsgrad D_{Pr}	156
5.10	Dichte nichtbindiger Böden (lockerste u. dichteste Lagerung)	158
5.10.1	Regelwerke	158
5.10.2	Definitionen und Einstufungen von Lagerungsdichten	158

5.10.3	Dichte bei dichtester Lagerung (Rütteltischversuch)	162
5.10.4	Dichte bei lockerster Lagerung (Einfüllung mit Trichter)	162
5.11	Wasserdurchlässigkeit	165
5.11.1	Allgemeines	165
5.11.2	DIN-Normen	165
5.11.3	Definitionen	165
5.11.4	Beziehungen der Filtergeschwindigkeit zum hydraulischen Gefälle	167
5.11.5	Temperatureinfluss	168
5.11.6	Versuch im Versuchszylinder mit Standrohren	169
5.11.7	Untersuchung in der Triaxialzelle (isotrope statische Belastung)	171
5.12	Einaxiale Zusammendrückbarkeit	172
5.12.1	Allgemeines	172
5.12.2	DIN-Normen	174
5.12.3	Begriffe (nach DIN 15135)	174
5.12.4	Kompressionsversuch (Oedometerversuch)	175
5.12.5	Steifemodul	177
5.12.6	Modellgesetz für Setzungszeiten	180
5.13	Scherfestigkeit	181
5.13.1	Allgemeines	181
5.13.2	DIN-Normen	182
5.13.3	Begriffe nach DIN 18137-1	182
5.13.4	Rahmenscherversuch	185
5.13.5	Triaxialversuch nach DIN 18137-2	189
5.13.6	Auswertung des Triaxialversuchs	191
5.14	Einaxiale Druckfestigkeit	196
5.14.1	DIN-Norm	196
5.14.2	Definitionen	197
5.14.3	Druck-Stauchungs-Diagramm	197
5.15	Charakteristische Werte von Bodenkenngrößen	199
5.15.1	Forderungen von DIN EN 1997-1 und DIN 1054	199
5.15.2	Werte gemäß DIN 1055-2	200
6	Spannungen und Verzerrungen	204
6.1	Darstellungen	204
6.1.1	Koordinatensysteme	204
6.1.2	Spannungs- und Deformationszustände	206
6.1.3	Spannungstransformation in kartesischen Koordinatensystemen	207
6.2	Sonderfälle	208
6.2.1	Hauptspannungen	209
6.2.2	Ebene Spannungs- und Deformationszustände	211
6.2.3	Symmetrie- und Antimetrieebenen	211
6.3	Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen	212
6.3.1	Stoffgesetze bei <i>Hooke</i> 'schem Material	212
6.3.2	Steifemodul, Elastizitätsmodul und Schubmodul	214
6.3.3	Bilinear-elastische und nichtlineare Stoffgesetze	214
6.4	Rechnerische Druckspannungen im Baugrund	215
6.4.1	Eigenlast aus trockenem oder erdfeuchtem Boden	215
6.4.2	Totale und effektive Druckspannungen	216
6.5	Vereinfachungen zur Lastausbreitung	217
6.6	Halbraum unter vertikaler Punktlast <i>F</i>	219
6.6.1	Spannungen und Deformationen nach <i>Boussinesq</i>	219
6.6.2	Spannungen nach <i>Fröhlich</i>	222

6.7	Halbraum unter horizontaler Punktlast F	224
6.8	Halbraumspannungen infolge vertikaler Linienlast f	225
6.8.1	Spannungen nach <i>Boussinesq</i>	226
6.8.2	Spannungen nach <i>Fröhlich</i>	227
6.9	Halbraumspannungen infolge horizontaler Linienlast f	227
6.10	Halbraumspannungen infolge vertikaler Streifenlast q	228
6.11	Halbraumspannungen unter schlaffen Rechtecklasten	229
6.12	Spannungen σ_z unter Eckpunkten schlaffer Rechtecklasten	230
6.13	Beiwerte für vertikale Normalspannungen des Halbraums	235
6.14	Spannungen σ_z infolge beliebiger Lasten	238
7	Berechnungsgrundlagen der neuen Normen	241
7.1	Allgemeines	241
7.2	Einwirkungen, geotechnische Kenngrößen, Widerstände	242
7.2.1	Einwirkungen	243
7.2.2	Geotechnische Kenngrößen	244
7.2.3	Widerstände	244
7.3	Charakteristische und repräsentative Werte	244
7.3.1	Charakteristische Werte	244
7.3.2	Repräsentative Werte	245
7.4	Grenzzustände	246
7.5	Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte	247
7.5.1	Bemessungssituationen	247
7.5.2	Teilsicherheitsbeiwerte	249
7.6	Bemessungswerte	251
7.6.1	Bemessungswerte von Einwirkungen	252
7.6.2	Bemessungswerte von geotechnischen Kenngrößen	253
7.6.3	Bemessungswerte von Bauwerkseigenschaften	253
7.7	Rechnerische Nachweisführung der Tragsicherheit	253
7.7.1	Verlust der Lagesicherheit (EQU)	254
7.7.2	Versagen im Tragwerk und im Baugrund (STR und GEO)	254
7.7.3	Versagen durch Aufschwimmen (UPL)	256
7.7.4	Versagen durch hydraulischen Grundbruch (HYD)	256
7.8	Beobachtungsmethode	257
8	Sohldruckverteilung	259
8.1	Allgemeines	259
8.2	Kennzeichnende Punkte und Linien	260
8.3	Bodenpressungen in der Sohlfuge nach DIN-Normen	261
8.3.1	Regelwerke	261
8.3.2	Gleichmäßige Verteilung und ansetzbare Sohlwiderstände nach DIN 1054	262
8.3.3	Geradlinige Verteilung	266
8.4	Sohldruckverteilung unter Flächengründungen	275
9	Setzungen	277
9.1	Allgemeines	277
9.2	Regelwerke	277
9.3	Begriffe	278

9.4	Kennzeichnende Punkte und Linien	279
9.5	Elastisch-isotroper Halbraum mit Einzellast	280
9.6	Elastisch-isotroper Halbraum mit konstanter Rechtecklast σ_0	281
9.7	Grenztiefe für Setzungsberechnungen	282
9.8	Halbraum mit konstanter Kreislast σ_0	284
9.9	Grundlagen für Setzungsberechnungen nach DIN 4019-1	284
9.9.1	Erforderliche Berechnungsunterlagen	284
9.9.2	Sohl- und Baugrundspannungen	285
9.10	Geschlossene Formeln bei mittiger Last nach DIN 4019-1	285
9.10.1	Setzung der Eckpunkte schlaffer, konstanter Rechtecklasten	286
9.10.2	Setzung starrer Rechteckfundamente	287
9.10.3	Setzung von Kreisfundamenten	292
9.11	Indirekte Setzungsberechnung nach DIN 4019-1	293
9.11.1	Ablauf der Setzungsermittlung	294
9.11.2	Anwendungsbeispiel aus DIN 4019-1	295
9.12	Setzungen infolge von Grundwasserabsenkung	296
9.13	Schräge und außermittige Belastungen nach DIN 4019-2	298
9.13.1	Ansatz waagerechter Lasten und Sohlspannungen	298
9.13.2	Setzungen und Verkantungen bei Verwendung geschlossener Formeln	300
9.13.3	Setzungen und Verkantungen infolge lotrechter Baugrundspannungen	305
9.14	Setzungsproblematik bei Hochbauten	306
9.14.1	Gegenseitige Beeinflussung	306
9.14.2	Mulden- und Sattellage	308
9.14.3	Setzungen bei inhomogenem Baugrund	309
9.15	Zulässige Setzungsgrößen	309
10	Erddruck	314
10.1	Allgemeines	314
10.2	Regelwerke	314
10.3	Angaben nach DIN 4085	314
10.3.1	Begriffe	314
10.3.2	Erforderliche Unterlagen	317
10.3.3	Allgemeines zur Erddruckermittlung	317
10.4	Erdruhedruck	319
10.4.1	Unbelastetes horizontales Gelände	319
10.4.2	Unbelastetes geneigtes Gelände	320
10.4.3	Erdruhedruck nach DIN 4085	321
10.5	Wirkungen der Stützwandbewegung	324
10.5.1	Erddruckkräfte	324
10.5.2	Bruchfiguren	325
10.6	Zonenbruch nach <i>Rankine</i>	326
10.7	Linienbruch nach <i>Coulomb</i>	331
10.7.1	Aktiver Erddruck	332
10.7.2	Passiver Erddruck	333
10.8	Verallgemeinerung der Erddrucktheorie von <i>Coulomb</i>	334
10.8.1	Aktiver Erddruck nach <i>Müller-Breslau</i>	334
10.8.2	Passiver Erddruck nach <i>Müller-Breslau</i>	335
10.8.3	Aktiver Erddruck bei Böden mit Kohäsion	337
10.8.4	Passiver Erddruck bei Böden mit Kohäsion	337

10.9	Aktiver Erddruck gemäß DIN 4085	338
10.9.1	Voraussetzungen der Berechnungsformeln	341
10.9.2	Formeln für Erddrücke und Erddruckkräfte aus Bodeneigenlast	343
10.9.3	Verteilung des Erddrucks aus Bodeneigenlast	345
10.9.4	Gleichmäßig verteilte vertikale Last auf ebener Geländeoberfläche	349
10.9.5	Vertikale Linien- und Streifenlasten auf ebener Geländeoberfläche	354
10.9.6	Horizontale Linien- oder schmale Streifenlasten	357
10.9.7	Erddruckanteil aus Kohäsion	357
10.9.8	Mindesterddruck	360
10.10	Passiver Erddruck gemäß DIN 4085	361
10.10.1	Formeln für Erddrücke und Erddruckkräfte infolge Bodeneigenlast	363
10.10.2	Vertikale Flächenlasten auf ebener Geländeoberfläche	369
10.10.3	Erddruckanteil aus Kohäsion	372
10.10.4	Mobilisierbare Erddruckkraft	375
10.11	Grafische Bestimmung des Erddrucks nach <i>Culmann</i>	376
10.12	Sonderfälle gemäß DIN 4085	377
10.12.1	Verdichtungserddruck	377
10.12.2	Silodruck	378
10.12.3	Erddruck bei dynamischen Anregungen des Bodens	379
10.12.4	Erddruck bei vertikaler Durchströmung des Bodens	380
10.13	Zwischenwerte des Erddrucks	380
10.13.1	Erddruck zwischen aktivem Erddruck und Erdruhedruck	381
10.13.2	Erddruck zwischen Erdruhedruck und passivem Erddruck	381
11	Grundbruch	382
11.1	Allgemeines	382
11.2	DIN-Normen	382
11.3	Begriffe	383
11.4	Einflussgrößen und Modelle des Versagenszustands	383
11.5	Theorie von <i>Prandtl</i>	383
11.5.1	Voraussetzungen	383
11.5.2	Spannungs- und Winkelbeziehungen in den <i>Rankine</i> -Zonen	384
11.5.3	Bedingungen in Übergangzone, <i>Prandtl</i> -Zone	385
11.5.4	Grundbruchformel nach <i>Prandtl</i> , Lösung für die Übergangzone	385
11.6	Verfahren von <i>Buisman</i>	387
11.7	Grundbruchsicherheit nach DIN 1054 und DIN 4017	388
11.7.1	Allgemeines	388
11.7.2	Anwendungserfordernisse	390
11.7.3	Kenngrößen des Baugrunds	390
11.7.4	Nachweis der Grundbruchsicherheit gemäß DIN 1054 und E DIN 1997-1	391
11.7.5	Einwirkungen	391
11.7.6	Grundbruchwiderstände	393
11.7.7	Grundwerte der Tragfähigkeitsbeiwerte und Formbeiwerte	394
11.7.8	Lastneigungsbeiwerte	397
11.7.9	Geländeneigungsbeiwerte	401
11.7.10	Sohlneigungsbeiwerte	402
11.7.11	Berücksichtigung von Bermenbreiten	403
11.7.12	Durchstanzen	404
11.7.13	Abmessungen von Gleitkörpern unter Streifenfundamenten	405
12	Gleiten und Kippen	408
12.1	Gleiten	408

12.1.1	DIN-Normen	408
12.1.2	Gleitsicherheit von Flach- und Flächengründungen nach DIN 1054	408
12.1.3	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054	412
12.1.4	Maßnahmen bei nicht erfüllter Gleitsicherheit	413
12.2	Kippen	413
12.2.1	Allgemeines	413
12.2.2	DIN-Normen	414
12.2.3	Kippsicherheit von Flach- und Flächengründungen nach DIN 1054	414
12.2.4	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054	416
12.2.5	Ungleichmäßige Setzungen bei hohen Bauwerken	419
13	Geländebruch	420
13.1	Allgemeines	420
13.2	DIN-Normen	420
13.3	Begriffe nach DIN 4084	420
13.4	Erforderliche Unterlagen für Berechnungen gemäß DIN 4084	421
13.5	Sonderfall der ebenen Gleitfläche	422
13.6	Lamellenverfahren (schwedische Methode)	424
13.7	Berechnungen nach Normen	426
13.7.1	Anwendungsbereich	426
13.7.2	Grenzzustand, Einwirkungen und Widerstände	427
13.7.3	Grenzzustandsbedingung	429
13.7.4	Arten der Bruchmechanismen und besondere Bedingungen	430
13.7.5	Bruchmechanismen mit einem Gleitkörper oder zusammengesetzt	431
13.7.6	Lamellenverfahren mit kreisförmig gekrümmten Gleitlinien	432
13.7.7	Lamellenfreie Verfahren mit kreisförmigen und geraden Gleitlinien	434
13.7.8	Zusammengesetzte Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien	436
13.7.9	Anwendungsbeispiele (mit Programm berechnet)	438
13.7.10	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054 und DIN 4084	440
14	Aufschwimmen	442
14.1	Maßnahmen bei zu geringer Sicherheit gegen Aufschwimmen	443
14.2	Regelwerke	444
14.3	Grenzzustand des Aufschwimmens nach DIN 1054	444
14.3.1	Allgemeines	444
14.3.2	Nichtverankerte Konstruktionen	444
14.3.3	Verankerte Konstruktionen	446
14.3.4	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen nach EAB	448
15	Methode der Finiten Elemente (FEM)	458
15.1	Allgemeines	458
15.2	Weggrößenverfahren	458
15.2.1	Vektoren des Gesamtmodells	459
15.2.2	Einheitsknotenbewegungen am Gesamtsystem	460
15.2.3	Biegestabelement	460
15.2.4	Steifigkeitsmatrix des Gesamtsystems	464
15.3	Stoffgesetze	466
15.3.1	Ebener Deformationszustand	468
15.3.2	Ebener Spannungszustand	469
15.4	Scheibenelemente	470

15.4.1	Einheitsbewegungen der Elementknoten	470
15.4.2	Ansatzfunktionen für Elementverschiebungen	471
15.4.3	Verzerrungs- und Spannungsvektor des Elements	473
15.4.4	Anwendungsbeispiel	474
16	Europäische Normung in der Geotechnik	479
16.1	Allgemeines	479
16.2	Deutsche und europäische Normung	479
16.3	Eurocode 7	481
16.3.1	Nationaler Anhang (NA)	481
16.3.2	Deutsche Normen und Empfehlungen, die DIN EN 1997-1 ergänzen	482
16.4	Europäische geotechnische Ausführungsnormen	482
16.5	Weitere europäische geotechnische Normen	483
16.6	Bauaufsichtliche Einführung	483
16.6.1	Allgemeines	483
16.6.2	Übergang von deutscher auf europäische Normung	485
	Literaturverzeichnis	486
	Firmenverzeichnis	501
	Stichwortverzeichnis	503

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 [116] und DIN EN ISO 14689-1 [118] 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 (Frostspaltung, 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 [147].



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.

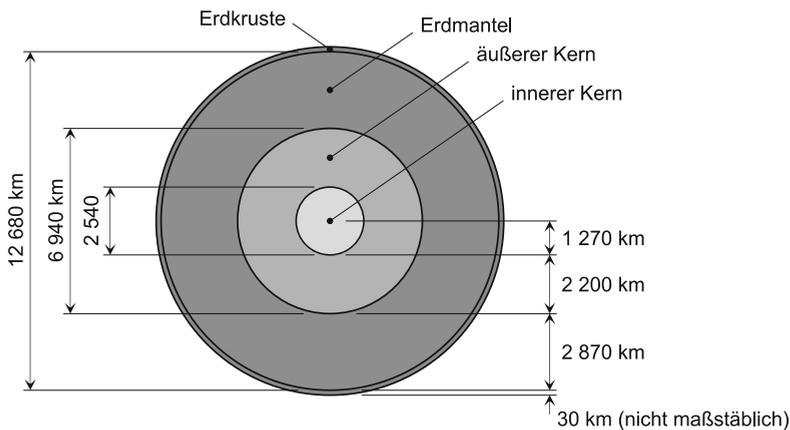


Bild 1-2 Erdaufbau in stark vereinfachter Form; in der Literatur zu findende Abmessungen weisen geringfügige Abweichungen zu den angegebenen Zahlenwerten auf

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 [144]

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)	Sanstein, 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).

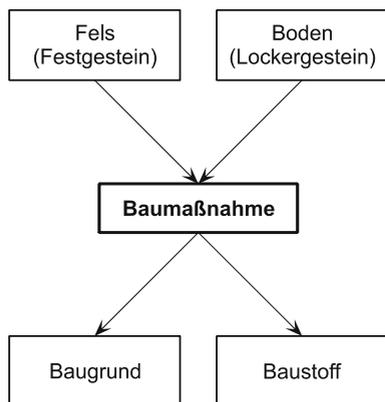


Bild 1-3 Bezeichnungsveränderungen infolge von Baumaßnahmen

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 [98] „Baugrund“ definiert wird als Boden, Fels und Auffüllung, die vor Beginn der Baumaßnahme vor Ort vorhanden sind.

1.2 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 [21], DIN 4023 [40], DIN 18196 [82], DIN 18300 [83], DIN 19682-1 [85], DIN 19682-2 [86], DIN 19682-12 [88], DIN EN 1997-1 [98], DIN EN ISO 14688-1 [116], DIN EN ISO 14688-2 [117], DIN EN ISO 14689-1 [118] und DIN EN ISO 22475-1 [119]

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 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 Frachtungsvorgänge 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).

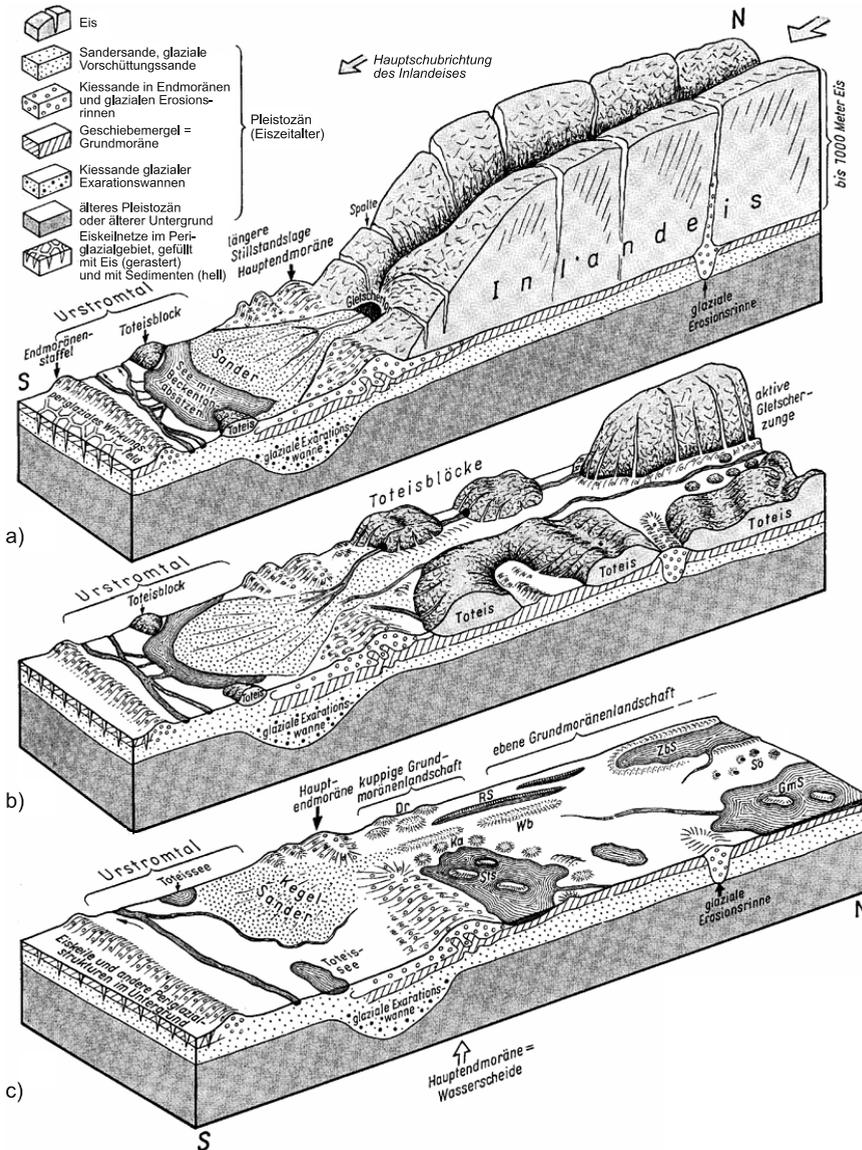


Bild 1-4 Formung der Landschaft des Norddeutschen Tieflands durch das eiszeitliche Inlandeis (aus [251])

a) geschlossene Eiskecke und ihr Vorland

b) Zerfall der Eiskecke in der Abschmelzphase

c) gegenwärtige Landschaft (*GmS* = Grundmoränensee, *ZbS* = Zungenbeckensee, *RS* = Rinnensee, *StS* = Endmoränenstausee, *Dr* = Drumlin, *Wb* = Wallberg, *Ka* = Kames, *Sö* = Sölle)

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 Bergbaub, 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)

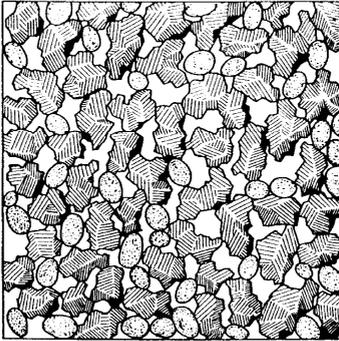
1.3 Einteilung nach Korngrößen und organischen Bestandteilen

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 [233])

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 [163], 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		

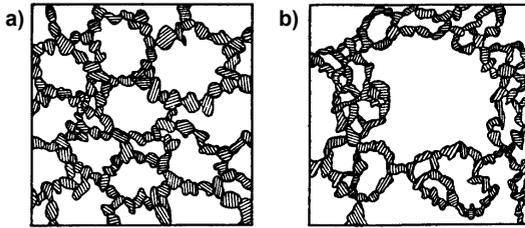


Bild 1-8 Waben- (a) und Flockenstruktur (b) von Tonen, nach Terzaghi (aus [250])

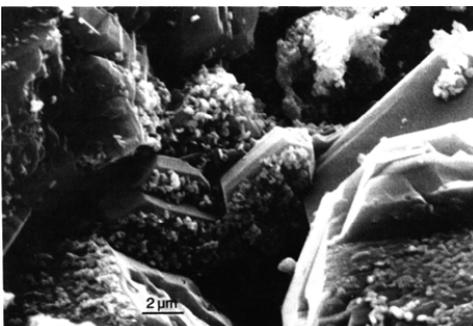
Nach [163], Kapitel 1.3 neigen insbesondere in Wasser aufgeschlämmte Tone beim Absinken dazu, sich mit ihren Einzelementen im Süßwasser in kartenhausartigen (wabenhöflichen) und im Salzwasser in bandartigen (flockenförmigen) Strukturen abzulagern (Bild 1-8). Das durch weitere Materialauflagerungen entstehende 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 [183] 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 [161], Kapitel 1.5 und Bild d aus [183])

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, Bemerkungen nach [39])

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 μ m) in die Kategorie „Ton“ eingeordnet werden, Tone aber erhebliche Unterschiede hinsichtlich ihrer Teilchengröße aufweisen können. Nach [183] liegen mittlere „Korngrößen“ von

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

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