

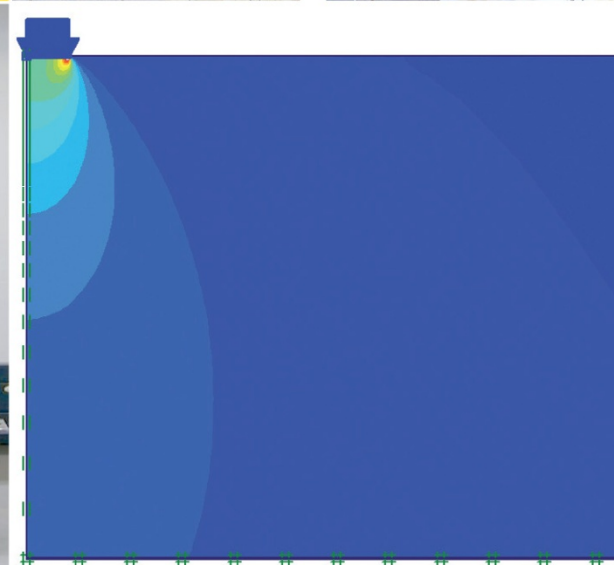
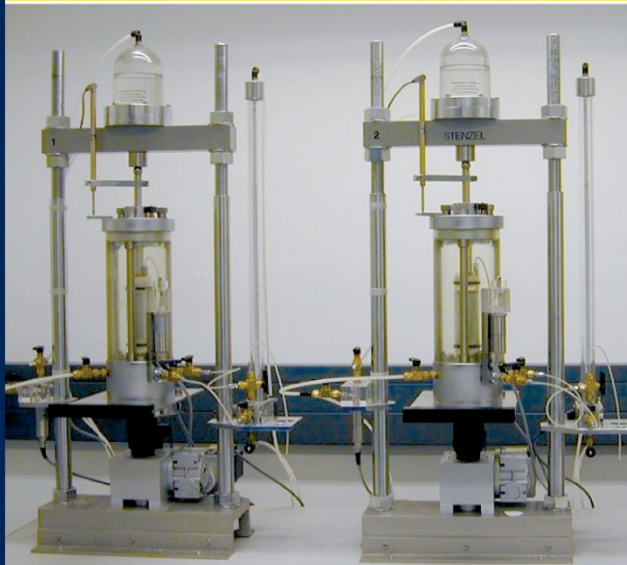
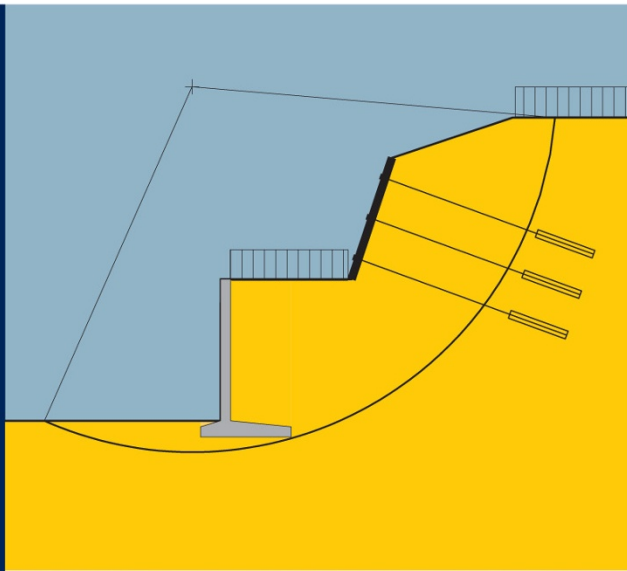


Geotechnik

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 | Untersuchungstollen | 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.

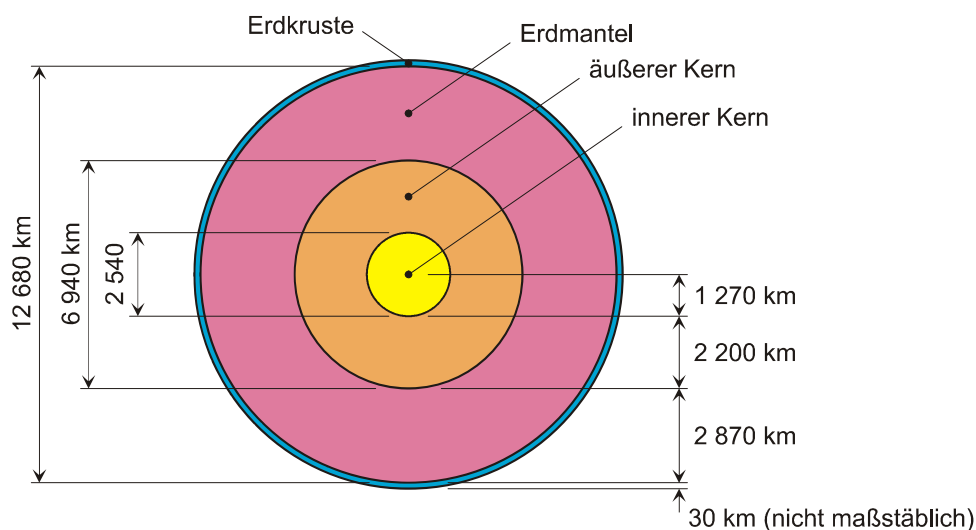


Bild 1-2 Erdaufbau in stark vereinfachter Form; in der Literatur zu findende Abmessungen weisen geringfügige Abweichungen zu den angegebenen Zahlenwerten auf

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).

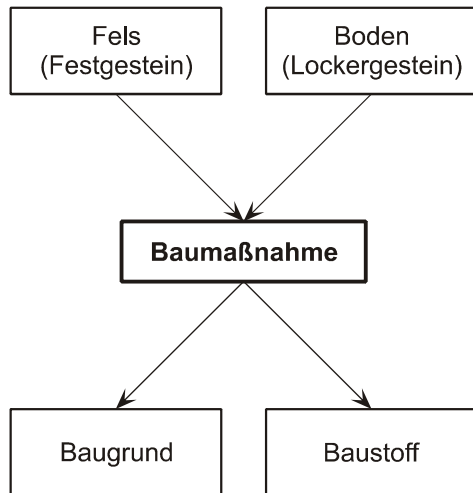


Bild 1-3 Bezeichnungsveränderungen infolge von Baumaßnahmen

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 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).

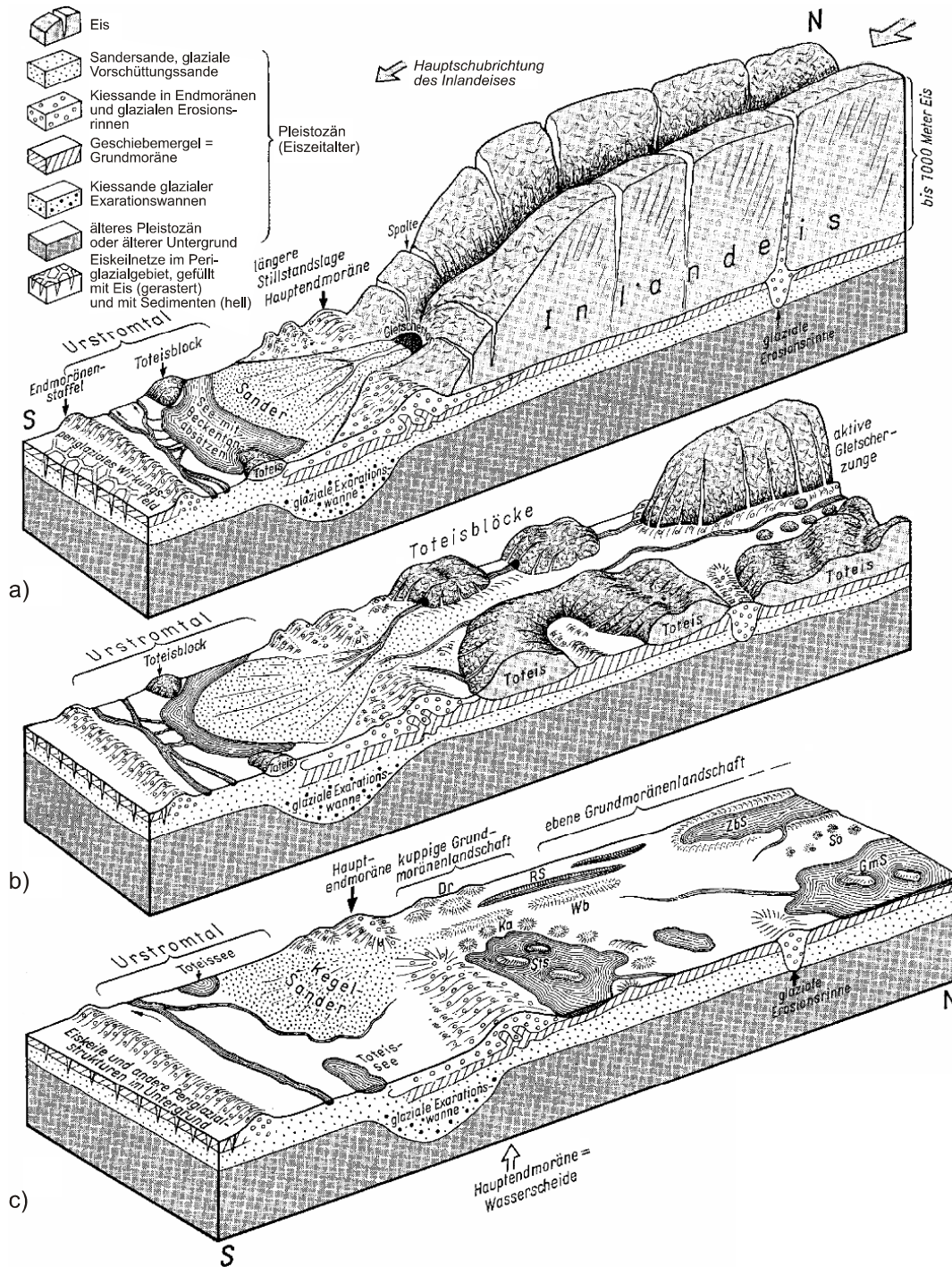


Bild 1-4 Formung der Landschaft des Norddeutschen Tieflands durch das eiszeitliche Inlandeis (aus [262])

a) geschlossene Eisdecke und ihr Vorland

b) Zerfall der Eisdecke 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 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)

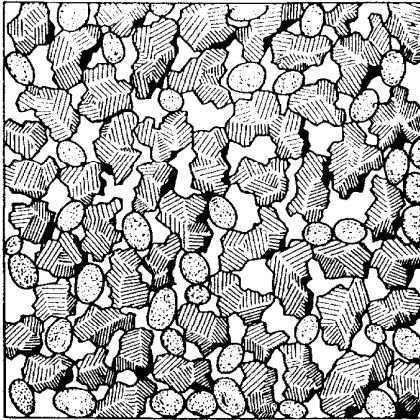
1.3 Einteilung nach Korngrößen und organischen Bestandteilen

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 | | |

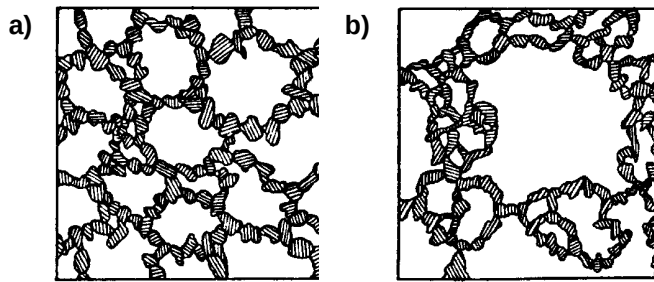
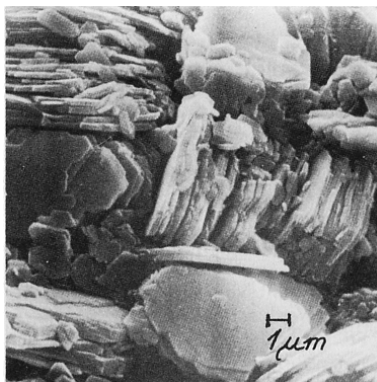
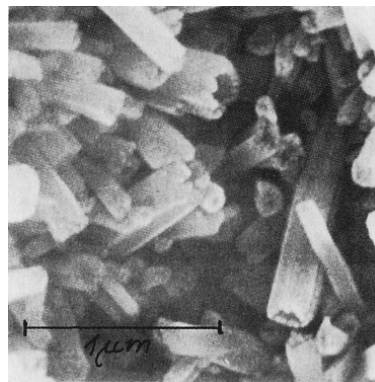


Bild 1-8 Waben- (a) und Flockenstruktur (b) von Tonen, nach Terzaghi (aus [261])

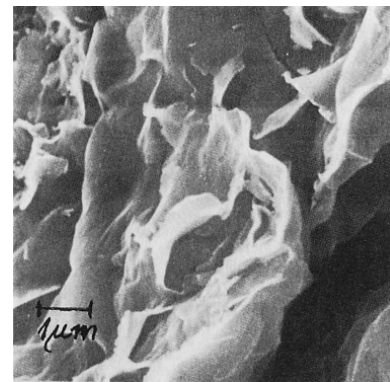
Nach [172], Kapitel 1.3 neigen insbesondere in Wasser aufgeschlämmte Tone beim Absinken dazu, sich mit ihren Einzelementen im Süßwasser in kartenhausartigen (wabenhöflichen) und im Salzwasser in bandartigen (flockenförmigen) Strukturen abzulagern (Bild 1-8). Das durch weitere Materialauflagerungen entstehende 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.



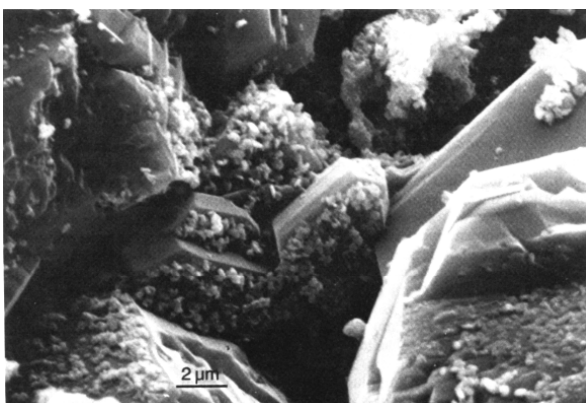
a) Kaolin



b) Halloysit



c) Montmorillonit



d) tafeliges 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 μ m) 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 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 Verwendung der Kurzzeichen nach DIN EN ISO 14688-1 als auch die der Kurzformen nach

DIN 4023 zulässig. Tabelle 1-5 zeigt eine entsprechende Gegenüberstellung dieser Kurzbezeichnungen.

Tabelle 1-5 Gegenüberstellung der zur Benennung von Böden zu verwendenden Kurzformen nach DIN 4023 und Kurzzeichen nach DIN EN ISO 14688-1 (nach DIN 4023, Tabelle B.1)

| Benennung des Bodens | Kurzform, DIN 4023 | Kurzzeichen, DIN EN ISO 14688-1 |
|----------------------|--------------------|---------------------------------|
| große Blöcke | – | LBo |
| Blöcke | Y | Bo |
| Steine | X | Co |
| Kies (Gr) | G | Gr |
| Grobkies | gG | CGr |
| Mittelkies | mG | MGr |
| Feinkies | fG | FGr |
| Sand | S | Sa |
| Grobsand | gS | CSa |
| Mittelsand | mS | MSa |
| Feinsand | fS | FSa |
| Schluff | U | Si |
| Grobschluff | – | CSi |
| Mittelschluff | – | MSi |
| Feinschluff | – | FSi |
| Ton | T | Cl |

1.3.3 Einteilung zusammengesetzter Böden

Zusammengesetzte Böden sind Gemische aus reinen Bodenarten. Da die zum jeweiligen Gemisch gehörenden Bodenarten unterschiedlich große Anteile an der Mischung aufweisen können, wird in DIN EN ISO 14688-1, 4.3.1 unterschieden zwischen

– Haupt- und Nebenanteilen.

Eine Bodenart stellt den Hauptanteil des zusammengesetzten Bodens dar, wenn sie nach den Massenanteilen am stärksten vertreten ist bzw. die bestimmenden Eigenschaften des Bodens prägt (vgl. auch Tabelle 1-6).

Bei grobkörnigen (Sand und Kies) und sehr grobkörnigen Böden (Steine und Blöcke) entspricht der Hauptanteil der Kornfraktion, die den Massenanteil am stärksten bestimmt. Dies gilt auch für gemischtkörnige Böden, wenn deren Verhalten durch ihren Feinkorn-Massenanteil nicht bestimmt wird. Bei feinkörnigen Böden ist die Kornfraktion der Hauptanteil, die das Verhalten des Bodens bestimmt. Zur Unterscheidung in „sehr grobkörnig“, „grobkörnig“ und „feinkörnig“ können die Definitionen von Tabelle 1-4 und Tabelle 1-7 verwendet werden.

Nach den Erläuterungen (zu 4.2) des Nationalen Anhangs (NA) von DIN EN ISO 14688-2 definieren sich die Hauptanteile von zusammengesetzten Bodenarten in zweierlei Form. Im ersten Fall ist der Hauptanteil die nach Massenanteilen am stärksten vertretene Bodenart bei

– grobkörnigen Böden mit einem Massenanteil an Feinkorn (Schluff und/oder Ton) von < 5 %,

- gemischtkörnigen Böden mit einem zwischen 5 % und 40 % liegenden Massenanteil an Feinkorn (Schluff und/oder Ton), welche das Verhalten des gemischtkörnigen Bodens nicht bestimmt.

Im zweiten Fall ist der Hauptanteil die Bodenart, welche die bestimmenden Eigenschaften des Bodens prägt. Dies gilt bei

- feinkörnigen Böden (Böden mit einem Massenanteil an Feinkorn von > 40 %; vgl. Tabelle 1-6),
- gemischtkörnigen Böden, deren Feinkorn-Massenanteil das Verhalten des Bodens bestimmt.

Gemäß DIN EN ISO 14688-1, 4.3.2 bestimmt das Feinkorn dann nicht das Verhalten eines gemischtkörnigen Bodens, wenn der Boden im Trockenfestigkeitsversuch (vgl. Abschnitt 1.6.3) keine oder nur eine niedrige Trockenfestigkeit aufweist bzw. wenn er beim Knetversuch (vgl. Abschnitt 1.6.5) keine Knetfähigkeit zeigt. Hingegen ist von dem Bestimmen des Verhaltens eines gemischtkörnigen Bodens durch das Feinkorn auszugehen, wenn dieser mindestens eine mittlere Trockenfestigkeit aufweist und/oder knetbar ist).

Eine Bodenart repräsentiert nach DIN EN ISO 14688-1, 4.3.3 einen Nebenanteil, wenn sie die bestimmenden Eigenschaften des Bodens nicht prägt (siehe vorigen Absatz), ggf. aber beeinflusst.

Richtwerte zur Unterscheidung nach Haupt- und Nebenanteilen gemäß DIN EN ISO 14688-2 lassen sich Tabelle 1-6 entnehmen.

Tabelle 1-6 Richtwerte für die Einteilung mineralischer Böden anhand von Korngrößenbereichen (nach DIN EN ISO 14688-2, Tabelle B.1)

| Korngrößenbereich | Anteil der Korngrößenbereiche ≤ 63 mm Massen-% | Anteil der Korngrößenbereiche ≤ 0,063 mm Massen-% | Bodenart | |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| | | | Nebenbestandteil | Hauptbestandteil |
| Kies | 20 bis 40 > 40 | | kiesig | Kies |
| Sand | 20 bis 40 > 40 | | sandig | Sand |
| Schluff + Ton (feinkörnige Böden) | 5 bis 15 | < 20 | schwach schluffig | Schluff Schluff Ton Ton |
| | 15 bis 40 | ≥ 20 | schwach tonig | |
| | | < 20 | schluffig | |
| | > 40 | ≥ 20 | tonig | |
| | | < 10 | tonig | |
| 10 bis 20 20 bis 40 > 40 | | schluffig | | |

Zur Bezeichnung zusammengesetzter Böden und vor allem zur Hervorhebung ihrer Anteile an reinen Bodenarten sind nach DIN EN ISO 14688-1 und DIN EN ISO 14688-2 die nachstehenden Kennzeichnungen zu verwenden (zu beachten sind die Erläuterungen der Nationalen Anhänge dieser Normen). Zusätzlich werden hier auch die entsprechenden Angaben von DIN 4023 aufgeführt, da deren Verwendung gemäß dem Nationalen Anhang von DIN EN ISO 14688-1 ebenfalls zulässig ist.

- Bezeichnung von Hauptanteilen mit
 - Substantiven (z. B. Kies, Sand, Grobsand, Feinsand, Schluff, Feinschluff, Ton) bzw.

- Großbuchstaben am Anfang des Kurzzeichens der Korngruppe und zur Erfassung der Stufen „grob“, „mittel“ und „fein“ (z. B. Gr, Sa, CSa, FSa, Si, Cl oder gemäß DIN 4023: G, S, gS, fS, U, T),
- Bezeichnung von Nebenanteilen mit
 - Adjektiven (z. B. kiesig, sandig, grobsandig, feinsandig, schluffig, tonig), die in der Reihenfolge ihres Massenanteils den Substantiven der Hauptanteile beigefügt werden (z. B. Kies, sandig oder Feinkies, grobsandig oder Schluff, mittelsandig) bzw.
 - Kleinbuchstaben (z. B. gr, sa, csa, fsa, si, cl oder gemäß DIN 4023: g, s, gs, fs, u, t), die in der Reihenfolge ihres Massenanteils den Kurzzeichen der Hauptanteile beigefügt werden (z. B. saGr für Kies, sandig oder csaFGr für Feinkies, grobsandig oder msaSi für Schluff, mittelsandig; gemäß DIN 4023 ist die Schreibweise G, s für Kies, sandig oder fG, gs für Feinkies, grobsandig oder U, ms für Schluff, mittelsandig) bzw.
 - den Adjektiven vorgesetztem „schwach“, wenn z. B. grobkörnige Nebenanteile mit < 15 % Massenanteil in dem Gemisch vertreten sind oder feinkörnige Nebenanteile in grobkörnigem Boden gemäß Tabelle 1-7 das Verhalten des Bodens in besonders geringem Maße beeinflussen (z. B.: schwach kiesig, schwach sandig, schwach grobsandig, schwach feinsandig, schwach schluffig, schwach tonig),
 - den Kleinbuchstaben folgendem Apostroph bei schwachen Nebenanteilen (z. B. g', s', gs', fs', u', t'),
 - den Adjektiven vorgesetztem „stark“, wenn z. B. grobkörnige Nebenanteile mit > 30 % Massenanteil in dem Gemisch vertreten sind oder feinkörnige Nebenanteile in grobkörnigem Boden gemäß Tabelle 1-7 das Verhalten des Bodens in besonders starkem Maße beeinflussen (z. B.: stark kiesig, stark feinkiesig, stark sandig, stark schluffig, stark tonig),
 - einem Strich über dem Kleinbuchstaben bei starken Nebenanteilen (z. B. \bar{g} , \bar{s} , \bar{gs} , \bar{fs} , \bar{u} , \bar{t}) bzw. einem dem Kleinbuchstaben nachgestellten *-Symbol (z. B. g*, s*, gs*, fs*, u*, t*).

Tabelle 1-7 Einteilung zusammengesetzter Böden (ohne sehr grobkörnige Anteile)

| Gemischtkörnige Böden | | | |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| grobkörnige Böden | | feinkörnige Böden | |
| Sande und Kiese mit Beimengungen aus Ton und Schluff | Gemische aus Grob- und Feinkorn (Kies + Sand + Schluff + Ton) | | Tone und Schluffe mit Beimengungen aus Sand und Kies |
| Massenanteil des Feinkorns (Schluff und/oder Ton) < 5 % | Massenanteil des das Bodenverhalten nicht bestimmenden Feinkorns $\geq 5\%$ bis $\leq 40\%$ | Massenanteil des das Bodenverhalten bestimmenden Feinkorns $\geq 5\%$ bis $\leq 40\%$ | Massenanteil des Feinkorns (Schluff und/oder Ton) > 40 % |

Mit den genannten Kennzeichen ergeben sich Bodenbezeichnungen wie z. B. (Hinweis: in DIN EN ISO 14688-1 werden starke und schwache Nebenanteile nicht näher definiert)

- | | | |
|----------------------------------------|------|---------------------------------------|
| Grobsand, mittelsandig, feinkiesig | bzw. | msafgrCSa (nach DIN 4023: gS, ms, fg) |
| Grobsand, mittelsandig, schwach kiesig | bzw. | gS, ms, g' |
| Grobsand, stark kiesig, mittelsandig | bzw. | gS, \bar{g} , ms bzw. gS, g*, ms |
| Sand, stark kiesig, schwach schluffig | bzw. | S, \bar{g} , u' bzw. S, g*, u' |

Enthält ein grobkörniger Boden zwei reine Bodenarten (z. B. Mittelsand und Kies) mit etwa gleichen Massenanteilen zwischen > 40 % und < 60 %, ist er nach DIN 4023 mit

- | | | |
|---------------------|------|------|
| Mittelsand und Kies | bzw. | mS/G |
|---------------------|------|------|

und nach DIN EN ISO 14688-1 mit Mittelsand/Kies bzw. MSa/Gr zu bezeichnen.

Etwas andere Bezeichnungen als die bisherigen ergeben sich, wenn das in Bild 1-10 gezeigte Dreiecknetz auf zusammengesetzte Böden ohne Kiesanteile angewendet wird. Dies ist u. a. auf die Verwendung des Begriffs „Lehm“ zurückzuführen.

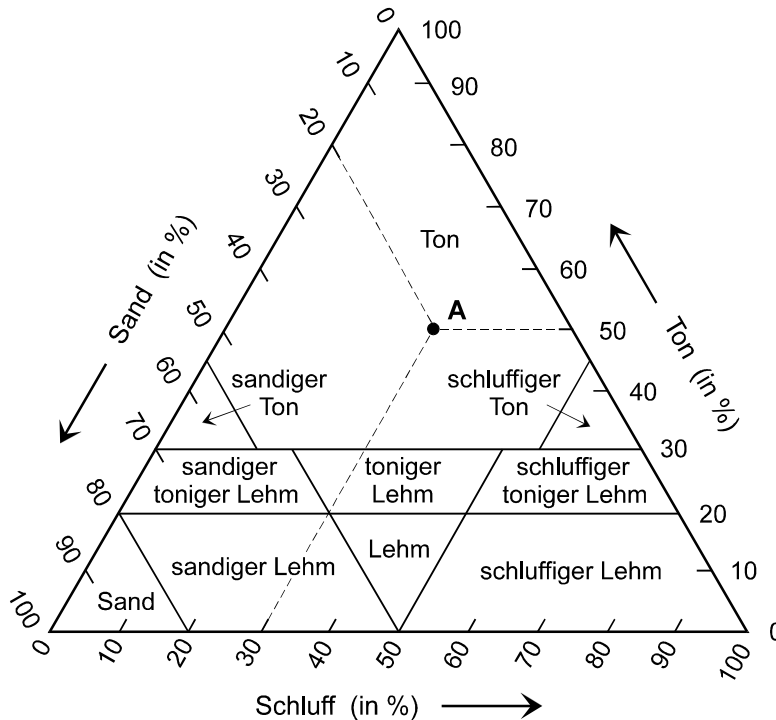


Bild 1-10 Dreiecknetz der Public Roads Administration zur Bodenklassifizierung (nach Terzaghi [261])

Anwendungsbeispiel

Mit Hilfe des Dreiecknetzes aus Bild 1-10 ist ein Boden zu klassifizieren, dessen Kornmasse zu 20 % aus Sand, zu 30 % aus Schluff und zu 50 % aus Ton besteht.

Lösung

Die Benutzung des Dreiecknetzes zeigt, dass es sich bei dem zu klassifizierenden Boden um Ton handelt (Punkt A in Bild 1-10).

Neben den bisher angegebenen Begriffen zur Benennung von Böden sind in der Literatur und in der Praxis noch eine große Anzahl weiterer Bezeichnungen zu finden. Zu diesen gehören z. B.

Geschiebemergel (Mg) in Eiszeiten durch Ablagerung entstandener kalkhaltiger bindiger Boden, aus Geröll, Kies, Sand, Schluff und Ton bestehende Mischung mit regelloser Struktur.

Geschiebelehm (Lg) entspricht Geschiebemergel, bei dem der Kalk durch Sicker- und Grundwasser ausgewaschen wurde.

Lehm (L) bindiger Boden als Mischung aus Kies, Sand, Schluff und Ton (z. B. *Verwitterungslehm*, *Auelehm* und *Hanglehm*).

Löss (Lö) vom Wind angewehtes, gleichkörniges, zumeist hellbraunes Sediment mit hohem Anteil der Teilchengrößen von 0,01 bis 0,05 mm und mit \approx 10 bis 20 % Kalkanteil.

Letten (Lö) Ton mit \approx 10 bis 40 % Kalkanteil, etwas lockerer als Ton, praktisch undurchlässig.

Bänderton (Bt) in regelmäßiger Folge abgelagertes Sediment im Schmelzwasserbecken des Gletschervorlandes. Bänderton weist, in mm- bis cm-Dicke, Jahresablagerungen auf, die aus hellen Feinsand-/Schlufflagen (Ablagerung im Sommer) und dunklen Ton-/Schlufflagen (Ablagerung im Winter) bestehen.

1.3.4 Einteilung von Böden mit organischen Bestandteilen

Böden können vollkommen aus organischen Substanzen bestehen oder organische Stoffe als Beimengungen besitzen. Organische Substanzen sind Überreste pflanzlichen und/oder tierischen Lebens, die im Boden verblieben sind und im Laufe der Zeit physikalischen und chemischen Umwandlungsprozessen unterworfen wurden. Humus, Torf und Faulschlamm sind Beispiele für das Ergebnis dieser Prozesse.

DIN 18196 unterscheidet anhand des Massenanteils an organischen Bestandteilen zwischen (siehe Tabelle 5-9)

- organischen Böden (im getrockneten Zustand an der Luft brenn- oder schwelbar) und
- organogenen Böden (im getrockneten Zustand an der Luft weder brenn- noch schwelbar).

Zu weiteren Unterscheidungen siehe Abschnitt 5.6.4 und DIN 18196.

Wie bei den zusammengesetzten Bodenarten findet sich in der Praxis auch für Böden mit organischen Bestandteilen eine Vielzahl weiterer Bodenartnamen. In diese Gruppe gehören Begriffe wie (siehe auch Tabelle 1-8)

Mutterboden oder auch *Oberboden* (Mu) aus Kies-, Sand-, Schluff- und Tongemischen bestehende oberste Bodenschicht, die auch Humus und Lebewesen enthält.

Mudde oder auch *Faulschlamm* (F) in Verlandungsgebieten von Gewässern vorkommender organischer Boden mit mineralischen Beimengungen.

Schlick (Kl) am küstennahen Meeresboden abgelagerter Tonschlamm (gemischt mit organischen Stoffen, Schluff und Feinsand).

Klei (Kl) ältere, verfestigte Schlickablagerung und typischer Boden für die Marsch (Schwemmland an Küsten und Flüssen).

Tabelle 1-8 Benennung und Beschreibung organischer Böden (nach DIN EN ISO 14688-1, Tabelle 2)

| Benennung | Beschreibung |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| faseriger Torf | faserige Struktur, leicht erkennbare Pflanzenstruktur; besitzt gewisse Festigkeit |
| schwach faseriger Torf | erkennbare Pflanzenstruktur; keine Festigkeit des erkennbaren Pflanzmaterials |
| amorpher Torf | keine erkennbare Pflanzenstruktur; breiige Konsistenz |
| Mudde (Gyttja) | pflanzliche und tierische Reste; mit anorganischen Bestandteilen durchsetzt |
| Humus | pflanzliche Reste, lebende Organismen und deren Ausscheidungen; bilden mit anorganischen Bestandteilen den Oberboden (Mutterboden) |

1.4 Einstufung in Boden- und Felsklassen

Gemäß ihrem Zustand beim Lösen werden Boden und Fels nach [85] in die nachstehenden Klassen eingeteilt (in der aktuellen DIN 18300 wird auf diese Einteilung verzichtet). Die Einteilung gilt für die Klassen 2 bis 7, Klasse 1 wird als eigene Klasse geführt. Zusätzlich angegebene Gruppenbezeichnungen (z. B. OH) sind DIN 18196 entnommen.

Klasse 1: *Oberboden*

Oberste Bodenschicht, die nicht nur Kies-, Sand-, Schluff- und Tongemische, sondern auch Humus und Bodenlebewesen enthält (OH).

Klasse 2: *Fließende Bodenarten*

Bodenarten von flüssiger bis breiiger Beschaffenheit (Konsistenzzahl $I_C < 0,5$, nach DIN 18122-1 [65]), die das Wasser schwer abgeben (Hinweis: nach DIN EN ISO 14688-2 wäre dieser Boden von breiiger bis sehr weicher Beschaffenheit).

Nach den ZTV E-StB 09, 3.1.2 [270] gehören hierzu

– organische Böden der Gruppen HN, HZ und F

sowie beim Lösen ausfließende und eine Konsistenzzahl von $I_C < 0,5$ aufweisende

– feinkörnige Böden der Gruppen UL, UM, UA, TL, TM, TA sowie organogene Böden und Böden mit organischen Beimengungen der Gruppen OU, OT, OH und OK, sofern diese Böden beim Lösen ausfließen,

– gemischtkörnige Böden der Gruppen SU*, ST*, GU* und GT* mit breiiger oder flüssiger Konsistenz, sofern diese Böden beim Lösen ausfließen.

Klasse 3: *Leicht lösbare Bodenarten*

Nicht- bis schwachbindige Sande, Kiese und Sand-Kies-Gemische mit $\leq 15\%$ Masseanteil an Schluff und Ton (Korngrößen $< 0,063$ mm) und mit einem Masseanteil von $\leq 30\%$ an Steinen der Korngröße > 63 mm und ≤ 200 mm.

Organische Bodenarten, die nicht von flüssiger bis breiiger Konsistenz sind, und Torfe.

Gemäß den ZTV E-StB 09, 3.1.2 [270] gehören in diese Klasse

– grobkörnige Böden der Gruppen SW, SI, SE, GW, GI und GE,

– gemischtkörnige Böden der Gruppen SU, ST, GU und GT,

– beim Ausheben standfest bleibende Torfe der Gruppe HN mit geringem Wassergehalt.

Klasse 4: Mittelschwer lösbare Bodenarten

Gemische aus Sand, Kies, Schluff und Ton mit einem Masseanteil von $> 15\%$ an Korn mit Korngrößen $< 0,063$ mm.

Weiche bis halbfeste bindige Bodenarten mit leichter bis mittlerer Plastizität und einem Masseanteil von $\leq 30\%$ an Steinen.

Die ZTV E-StB 09, 3.1.2 [270] zählen hierzu

- feinkörnige Böden der Gruppen UL, UM, UA, TL und TM,
- gemischtkörnige Böden der Gruppen SU*, ST*, GU* und GT*,
- organogene Böden sowie Böden mit organischen Beimengungen der Gruppen OU, OH und OK.

Klasse 5: Schwer lösbare Bodenarten

Bodenarten gemäß der Klassen 3 und 4, die jedoch einen Masseanteil von $> 30\%$ Steinen enthalten sowie Bodenarten mit einem Masseanteil von $\leq 30\%$ an Blöcken mit Korngrößen > 200 mm und ≤ 630 mm.

Ausgeprägt plastische Tone mit weicher bis halbfester Konsistenz (nach den ZTV E-StB 09, 3.1.2 [270] gehören in diese Klasse weiche bis halbfeste feinkörnige Böden der Gruppen TA und OT).

Klasse 6: Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten

Felsarten, die einen mineralisch gebundenen Zusammenhalt aufweisen, gleichzeitig aber stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig oder verwittert sind, sowie vergleichbare feste oder verfestigte Bodenarten, deren Zustand z. B. auf Austrocknung, Gefrieren oder chemische Bindungen zurückzuführen ist.

Bodenarten mit einem Masseanteil von $> 30\%$ an Blöcken.

In diese Klasse gehören nach den ZTV E-StB 09, 3.1.2 [270]

- Fels, der nicht in die Klasse 7 gehört,
- Bodenarten der Klassen 4 und 5 mit fester Konsistenz.

Klasse 7: Schwer lösbarer Fels

Felsarten mit einem mineralisch gebundenen Zusammenhalt und hoher Festigkeit, die nur wenig klüftig oder verwittert sind, sowie unverwitterter Tonschiefer, Nagelfluhschichten, verfestigte Schlacken und dergleichen. Weiterhin gehören hierzu Haufwerke aus großen Blöcken mit Korngrößen > 630 mm.

Hierzu gehören nach den ZTV E-StB 09, 3.1.2 [270]

- angewitterter und unverwitterter Fels mit Gesteinskörpern, die durch Trennflächen begrenzt sind und Rauminhalte $> 0,1$ m³ besitzen,
- Halden mit verfestigter Schlacke.

Hinweis: In E DIN EN 16907-2 [118] wird für Erdarbeiten eine Basis zur Beschreibung und Klassifizierung von Boden und Fels als Erdbaumaterialien definiert, die für die Bemessung, Planung und Ausführung verwendet werden kann.

1.5 Kennzeichnungen nach DIN 4023

Die nachstehenden Tabellen sind DIN 4023 entnommen. Als zwei von insgesamt vier Tabellen zeigen sie Vereinbarungen für die einheitliche Kennzeichnung wichtiger Boden- und Felsarten (auch zusammengesetzte, Tabelle 1-10), wie sie in zeichnerischen Darstellungen (z. B. von Bohrergergebnissen) und im Schrifttum verwendet werden können.

Tabelle 1-9 Beispiele für Kurzformen, Zeichen und Farbkennzeichnungen für Boden- bzw. Felsarten nach DIN EN ISO 14688-1 bzw. DIN EN ISO 14689-1 (nach DIN 4023)

| Benennung | | Kurzformen | | Zeichen | Farbkennzeichnung ^a | |
|-------------|---------------|-------------|-------------|---------|--------------------------------|-------------------------------|
| Hauptanteil | Nebenanteil | Hauptanteil | Nebenanteil | | Farbname | Farbmaßzahlen nach DIN 6164-1 |
| Blöcke | mit Blöcken | Y | y | | gelb | 2 : 6 : 1 |
| Steine | steinig | X | x | | gelb | 2 : 6 : 1 |
| Kies | kiesig | G | g | | gelb | 2 : 6 : 1 |
| Grobkies | grobkiesig | gG | gg | | | |
| Mittelkies | mittelkiesig | mG | mg | | | |
| Feinkies | feinkiesig | fG | fg | | | |
| Sand | sandig | S | s | | orange | 6 : 6 : 2 |
| Grobsand | grobsandig | gS | gs | | | |
| Mittelsand | mittelsandig | mS | ms | | | |
| Feinsand | feinsandig | fS | fs | | | |
| Schluff | schluffig | U | u | | oliv | 1 : 4 : 5 |
| Ton | tonig | T | t | | violett | 14 : 5 : 4 |
| Torf, Humus | torfig, humos | H | h | | dunkelbraun | 5 : 2 : 6 |
| Braunkohle | – | Bk | – | | dunkelbraun | 5 : 2 : 6 |
| Sandstein | – | Sst | – | | orange | 6 : 6 : 2 |
| Kalkstein | – | Kst | – | | dunkelblau | 17 : 5 : 4 |
| Mergelstein | – | Mst | – | | violettblau | 15 : 6 : 4 |

^a Handelsbezeichnungen nach DIN 4023, Anhang A.

Tabelle 1-10 Beispiele von Kurzformen, Zeichen und Farbkennzeichnungen für zusammengesetzte Bodenarten und Sedimentgesteine sowie für nicht-petrographische Bezeichnungen von Boden (nach DIN 4023)

| Benennung | Kurzformen | Zeichen | Farbkennzeichnung ^a | |
|----------------------------------------|------------|---------|--------------------------------|-------------------------------|
| | | | Farbname | Farbmaßzahlen nach DIN 6164-1 |
| Grobkies, steinig | gG, x | | gelb | 2 : 6 : 1 |
| Feinkies und Sand | fG/S | | orange | 6 : 6 : 2 |
| Grobsand, mittelkiesig | gS, mg | | orange | 6 : 6 : 2 |
| Mittelsand, schluffig, humos | mS, u, h | | orange | 6 : 6 : 2 |
| Schluff, stark feinsandig | U, fs* | | oliv | 1 : 4 : 5 |
| Auffüllung | A | | – | – |
| Mutterboden | Mu | | gelblichbraun | 4 : 5 : 3 |
| Verwitterungslehm, Hanglehm | L | | grau | N : 0 : 5,5 |
| Lößlehm | Löl | | oliv | 1 : 4 : 5 |
| Geschiebelehm | Lg | | grau | 15 : 6 : 4 |
| Geschiebemergel | Mg | | violettblau | N : 0 : 5,5 |
| Klei, Schlick | Kl | | lila | 11 : 4 : 4 |
| Klei, feinsandig | Kl, fs | | lila | 11 : 4 : 4 |
| Torf, feinsandig, schwach schluffig | H, fs, u' | | dunkelbraun | 5 : 2 : 6 |
| Mudde (Faulschlamm) | F | | lila | 11 : 4 : 4 |
| Seekreide mit organischen Beimengungen | Wk, o | | hellblau | 17 : 5 : 2 |
| Sandstein, schluffig | Sst, u | | orange | 6 : 6 : 2 |
| Kalkstein, schwach sandig | Kst, s* | | dunkelblau | 17 : 5 : 4 |
| Salzgestein, tonig | Sast, t | | gelbgrün | 23 : 6 : 3 |

^a Handelsbezeichnungen nach DIN 4023, Anhang A.

Ein Anwendungsbeispiel für die Vereinbarungen aus Tabelle 1-9 und Tabelle 1-10 ist in Bild 1-11 gezeigt.

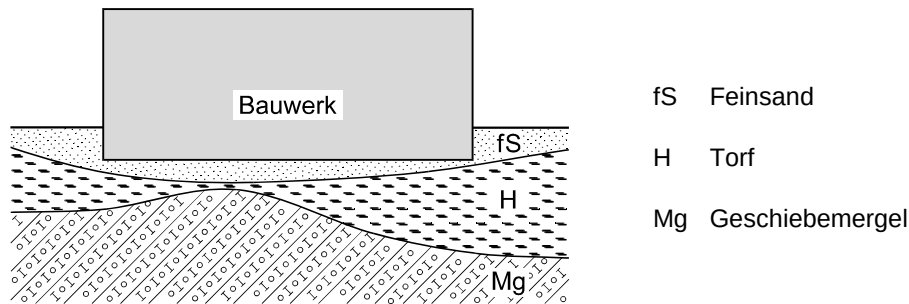


Bild 1-11 Baugrund unter einem geplanten Bauwerk

1.6 Erkennung von Bodenarten mit Hilfe einfacher Verfahren

In DIN EN ISO 14688-1, 5 werden mehrere Verfahren angegeben, die auch im Feld durchführbar sind und mit denen in einfacher Form sowie mit geringem Zeit- und Kostenaufwand Erkenntnisse zur Bestimmung der jeweils untersuchten Bodenart gewonnen werden können. Die angegebenen Verfahren dienen zur Bestimmung des Bodens bezüglich

- seiner Korngröße,
- seiner Kornform,
- seiner mineralischen Zusammensetzung,
- seines Feinanteils (Auswaschversuch),
- seiner Farbe,
- seiner Trockenfestigkeit (Trockenfestigkeitsversuch),
- seiner Art als bindiger Boden (Schüttelversuch),
- seiner Plastizität (Knetversuch),
- seines Sand-, Schluff- und Tongehalts (Reibe- und Schneideversuch),
- seines Kalkgehalts,
- seiner Konsistenz.

Darüber hinaus werden Verfahren zur

- Benennung und Beschreibung von organischen Böden (Riechversuch; anorganische oder organische Natur eines Bodens),
- Bestimmung des Zersetzungsgrads von Torf (Ausquetschversuch),
- Benennung und Beschreibung vulkanischer Böden angegeben.

Zusätzlich erwähnt sei noch die Bestimmung der Bodenart mit der „Fingerprobe nach dem Feldverfahren“ gemäß der vom Normenausschuss Wasserwesen erarbeiteten DIN 19682-2.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass in DIN EN ISO 14689-1 und dem zugehörigen Nationalen Anhang Verfahren zum Beschreiben von Gesteinsarten zu finden sind. Sie dienen z. B. zur

- Erfassung der Veränderlichkeit von Gestein infolge von geänderten Wasserverhältnissen oder atmosphärischen Verhältnissen,
- Unterscheidung von Gesteinsgruppen anhand der Korngröße (durchschnittliche Größe der vorherrschenden Mineral- oder Gesteinsbruchstücke),
- Bestimmung des Kalkgehalts (Betroffen der Felsprobe mit verdünnter Salzsäure),
- Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit in MPa (durch Anritzen mit Fingernagel oder Messer bzw. durch Anschlagen mit Geologenhammer; beachte DIN EN ISO 14689-1, Tabelle 5),

- Bestimmung der Körnigkeit (Unterscheidung von „vollkörnig“, „teilkörnig“ und „nichtkörnig“),
 - Bestimmung der Mineralkornhärte (zur Ermittlung der Härtegrade 1 bis > 6 werden möglichst große Einzelkörner mit Fingernagel, Messer oder Feile angeritzt bzw. mit Stahl angeschlagen).
- Bituminöse und tonige Gesteine, Faulschlammkalke und manche vulkanischen Gesteine können mit Hilfe des Riechversuchs durch den für sie typischen Geruch erkannt werden.

1.6.1 Reibeversuch

Zur Abschätzung der Sand-, Schluff- und Tonanteile eines Bodens wird eine kleine Probemenge zwischen den Fingern zerrieben (evtl. unter Wasser). Um dabei die interessierenden Bodenanteile erkennen zu können, ist von den nachstehenden Kriterien auszugehen.

- Toniger Boden* fühlt sich seifig an, bleibt an den Fingern kleben und lässt sich auch im trockenen Zustand nicht ohne Abwaschen entfernen.
- Schluffiger Boden* fühlt sich weich und mehlig an. An den Fingern haftende Bodenteile sind in trockenem Zustand durch Fortblasen oder in die Hände Klatschen problemlos entfernbar.
- Sandkornanteil* ist erfassbar über das Rauigkeitsgefühl bzw. das Knirschen und Kratzen (im Zweifelsfall: Versuchsdurchführung zwischen den Zähnen) sowie über die mit bloßem Auge erkennbaren Einzelkörner.

1.6.2 Schneideversuch

Der Schneideversuch dient zur schnellen und einfachen Erkennung eines Bodens als Schluff oder Ton. Dazu wird eine erdfeuchte Probe des Bodens mit einem Messer durchgeschnitten und anhand des Aussehens der frischen Schnittfläche seine Einordnung vorgenommen. Eine

- glänzende Schnittfläche ist charakteristisch für Ton,
- stumpfe Schnittfläche entsteht bei Schluff bzw. tonig, sandigem Schluff mit geringer Plastizität.

Zur noch rascheren Feststellung darf die Probenoberfläche nach DIN EN ISO 14689-1, 5.9 auch mit dem Fingernagel eingeritzt oder geglättet werden.

1.6.3 Trockenfestigkeitsversuch

Mit diesem Versuch lässt sich die Zusammensetzung des Bodens nach Art und Menge des Feinkornanteils am Widerstand erkennen, den eine getrocknete Bodenprobe gegen ihre Zerstörung zwischen den Fingern entwickelt. Dabei lassen sich relativ problemlos die in der folgenden Tabelle 1-11 aufgeführten Fälle unterscheiden.

Tabelle 1-11 Ergebnisse von Trockenfestigkeitsversuchen (Bodenbeispiele nach [41])

| Verhalten der Bodenprobe beim Versuch | untersuchte Böden (Beispiele) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| zerfällt ohne oder bei geringster Berührung (keine Trockenfestigkeit) | G, S, Gs |
| zerfällt bei leichtem bis mäßigem Fingerdruck (geringe Trockenfestigkeit) | U, Ufs, fSü, Gū |
| zerbricht erst bei erheblichem Fingerdruck, und es verbleiben noch zusammenhängende Bruchstücke (mittlere Trockenfestigkeit) | Gĭ, Sĭ, Uĭ |
| ist durch Fingerdruck nicht zerstörbar (hohe Trockenfestigkeit) | T, Tu, Ts, Gġs |

1.6.4 Konsistenzbestimmung bindiger Böden

Als „bindige Böden“ werden nach DIN EN ISO 14688-1, 4.4 Böden bezeichnet, die plastische Eigenschaften aufweisen. Da solche Böden in sehr unterschiedlichen Zustandsformen vorzufinden sind, ist eine entsprechende Unterscheidung erforderlich. Der hierfür geeignete Versuch sieht die Bearbeitung einer Probe bindigen Bodens mit der Hand vor. Das jeweilige Versuchsergebnis ermöglicht die Unterscheidung der Zustandsformen

| | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>breiig</i> | beim Pressen des Bodens in der Faust quillt dieser durch die Finger, |
| <i>weich</i> | Boden lässt sich leicht kneten, |
| <i>steif</i> | Boden ist schwer knetbar, aber in der Hand in 3 mm dicke Walzen ausrollbar, ohne dabei zu reißen oder zu zerbröckeln, |
| <i>halbfest</i> | Boden bröckelt und reißt beim Ausrollen in 3 mm dicke Walzen, lässt sich aber erneut zum Klumpen formen, |
| <i>fest (hart)</i> | ausgetrockneter Boden, der meist hell aussieht und sich nicht mehr kneten, sondern nur noch zerbrechen lässt. |

Bei gering plastischen Böden lässt sich die Unterteilung nur annähernd verwenden (vgl. DIN EN ISO 14688-1, 5.14).

Ergänzend sei auf die vom Normenausschuss Wasserwesen erarbeitete DIN 19682-5, 4.1 [89] hingewiesen, wonach bindige Böden, die nachweislich im Grundwasserbereich liegen und einen trockeneren Zustand als breiig aufweisen, verdichtet und wenig wasserdurchlässig sind.

1.6.5 Plastizität bindiger Böden (Knetversuch)

Die Plastizität bindiger Böden ist ein Maß für die Bearbeitbarkeit des Bodens. Sie lässt sich mit dem Knetversuch bestimmen.

Hierzu wird eine feuchte Bodenprobe auf einer glatten Oberfläche zu Walzen von ≈ 3 mm Durchmesser ausgerollt. Aus diesen werden Klumpen geformt, die erneut ausgerollt werden. Diese Vorgehensweise ist so lange zu wiederholen, bis sich die Probe, wegen des Wasserverlustes, nicht mehr ausrollen, sondern höchstens kneten lässt. Mit diesem Zustand ist die Ausrollgrenze erreicht (siehe auch Abschnitt 5.8.5).

Nach DIN EN ISO 14688-1, 5.8 sind bei diesem Versuch unterscheidbar:

| | |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>geringe Plastizität</i> | die Bodenprobe kann nicht zu Walzen von ≈ 3 mm Durchmesser ausgerollt werden, |
| <i>ausgeprägte Plastizität</i> | die Bodenprobe lässt sich zu dünnen Walzen ausrollen. |

1.6.6 Ausquetschversuch

Zur Feststellung des Zersetzungsgrads von Torf wird ein nasses Torfstück in der Faust kräftig gequetscht. In DIN EN ISO 14688-1, 5.12 wird der Zersetzungsgrad des Torfs gemäß Tabelle 1-12 unterschieden.

Bei zu trockenem Torf ist der Ausquetschversuch nicht mehr durchführbar; der Torf muss dann nach dem Aussehen beurteilt werden. Bei nicht bis mäßig zersetztem Torf zeigt die Probe erhebliche Anteile von gut erhaltenen und erkennbaren Pflanzenresten. Proben mit stark bis völlig zersetztem Torf bestehen überwiegend aus nicht mehr erkennbaren Pflanzenresten.

Hinsichtlich der Unterscheidung von Torfen nach Zersetzungsgraden bzw. Zersetzungsstufen sei auch auf die vom Normenausschuss Wasserwesen erarbeitete DIN 19682-12 hingewiesen.

Tabelle 1-12 Bestimmung des Zersetzungsgrads von nassem Torf durch Ausquetschen (nach DIN EN ISO 14688-1, Tabelle 5)

| Begriff | Zersetzungsgrad | Quetsch-Rückstände | Abgepresstes |
|----------------|-----------------|--------------------|-------------------------------------|
| faserig | kein | deutlich erkennbar | nur Wasser keine Feststoffe |
| leicht faserig | mäßig | erkennbar | trübes Wasser < 50 % Feststoffe |
| nicht faserig | völlig | nicht erkennbar | wässriger Brei > 50 % Feststoffe |

1.6.7 Schüttelversuch

Für schluffige Böden ist ihre Empfindlichkeit gegen Schütteln charakteristisch.

Bei einem diesbezüglichen Versuch wird eine feuchte, nussgroße Probe (zu trockene Proben sind vorher mit Wasser durchzukneten) auf der flachen Hand hin- und hergeschüttelt. Tritt dabei an der Probenoberfläche Wasser aus, nimmt diese ein glänzendes Aussehen an. Durch Fingerdruck lässt sich das Wasser wieder zum Verschwinden bringen. Bei zunehmendem Fingerdruck zerkrümelt die Probe zwar, die einzelnen Krümel fließen bei erneutem Schütteln aber wieder zusammen, so dass der Versuch wiederholt werden kann.

Anhand der Reaktionsgeschwindigkeit, mit der das Wasser beim Schütteln bzw. beim Drücken erscheint bzw. verschwindet, kann unterschieden werden in

- schnelle Reaktion* rasches Ablaufen der beschriebenen Vorgänge (Beispiele: fS, fSu, Ufs, Gu),
- langsame Reaktion* Wasserhaut bildet bzw. verändert sich nur langsam (Beispiele: Ut, U, St),
- keine Reaktion* kein Ansprechen des Schüttelversuchs (Beispiele: Tu, T).

Anwendungsbeispiel

Mit einer Bodenprobe wird gemäß DIN EN ISO 14688-1 sowohl der Reibeversuch als auch der Schneide- und der Schüttelversuch durchgeführt.

Beim Reibeversuch fühlt sich das Material der Probe seifig, aber auch etwas rau an, bleibt an den Fingern kleben und muss auch im trockenen Zustand von den Händen abgewaschen werden.

Beim Schneideversuch zeigt das Bodenmaterial eine glänzende Schnittfläche und beim Schüttelversuch keine Reaktion.

Welcher Bodenart kann dieses Probenmaterial z. B. zugeordnet werden?

Lösung

Der Reibeversuch weist auf tonigen Boden mit eher geringen Sandanteilen und die glänzende Schnittfläche beim Schneideversuch auf einen hohen Tonanteil hin. Durch den Schüttelversuch wird diese Einschätzung bestätigt.

Bei dem untersuchten Bodenmaterial kann es sich z. B. um sandigen Ton (Ts) handeln.

2 Wasser im Baugrund

2.1 Allgemeines

Das während des Jahres in unterschiedlicher Menge anfallende Niederschlagswasser dringt nur zum Teil in den Boden ein. Der Rest verdunstet bzw. fließt als Oberflächenwasser ab.

Den Boden infiltrierendes Wasser sickert entweder bis zu einem Grundwasserreservoir, oder es verbleibt in den Bodenporen der über dem Grundwasser liegenden Zone (Bild 2-1).

Generell kann zwischen zwei Zonen unterschieden werden. In der unteren Zone sind alle Bodenporen vollständig gefüllt durch Grundwasser, das einem hydrostatischen Druck unterliegt. In der darüber liegenden Zone (Kapillarzone) sind die Poren vollständig (geschlossene Kapillarzone) oder teilweise (offene Kapillarzone) mit Kapillarwasser gefüllt (Bild 2-1). Während oberhalb der geschlossenen Kapillarzone einzelne Bodenteilchen von Haftwasser (gegen die Schwerkraft adhäsiv gehaltenes Wasser) umgeben sind, werden die Bodenteilchen im gesamten Bodenbereich von hygrokopischem Wasser umhüllt, sofern ihre Oberflächen elektrisch geladen sind (vgl. Abschnitt 2.6).

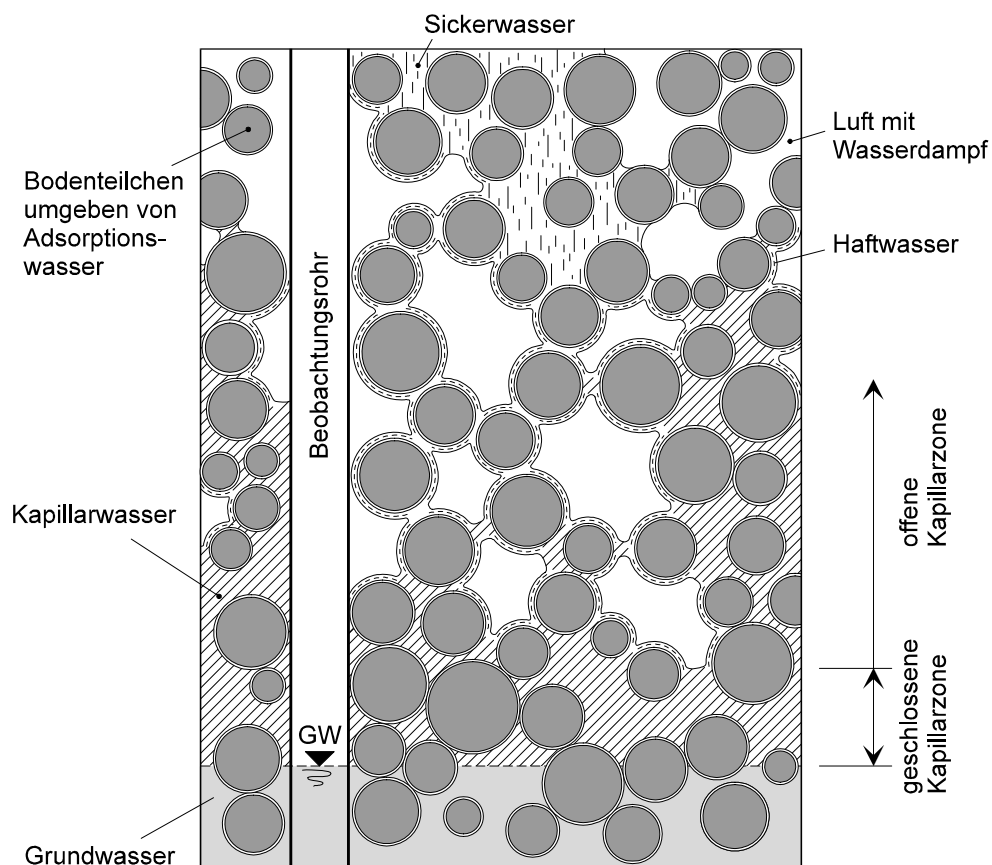


Bild 2-1 Erscheinungsformen des Wassers im Boden (nach [229])

2.2 Regelwerke

Bestimmungen zu Untersuchungen der Grundwassergegebenheiten und seiner Eigenschaften sowie zu den Auswirkungen von stehendem oder fließendem Grundwasser auf Baumaterial und Baukonstruktionen finden sich z. B. in

- DIN 1054 [20], DIN 4020 [38], DIN 4030-1 [43], DIN 4030-2 [44], DIN 18130-2 [76], DIN 19682-8 [90], DIN EN 1992-1-1 [98], DIN EN 1992-1-1/NA [99], DIN EN 1997-2 [103], DIN EN 1997-2/NA [104] und DIN EN ISO 22475-1 [128],
- den EAB [145],
- den EAU 2012 [149],
- den GDA-Empfehlungen [163],
- dem Merkblatt über geotechnische Untersuchungen und Berechnungen im Straßenbau [210].

2.3 Begriffe

Aus DIN EN ISO 22475-1 und [40] wurden die nachstehenden Begriffe entnommen.

Sickerwasser Wasser, das sich durch Überwiegen der Schwerkraft abwärts bewegt, soweit es kein Grundwasser ist.

Grundwasser unterirdisches Wasser, das die Hohlräume des Baugrunds zusammenhängend ausfüllt.

Grundwasserspiegel ausgeglichene Grenzfläche des Grundwassers gegen die Atmosphäre (z. B. in Brunnen, Grundwassermessstellen, Höhlen oder Gewässern).

Grundwasserkörper Grundwasservorkommen oder Teil eines solchen, das eindeutig abgegrenzt oder abgrenzbar ist.

Grundwasseroberfläche obere Grenzfläche eines Grundwassers.

Grundwasserdruckfläche geometrischer Ort der Endpunkte aller Standrohrspiegelhöhen an einer Grundwasseroberfläche.

Freie Grundwasseroberfläche (freies Grundwasser) Grundwasserdruckfläche, die mit der Grundwasseroberfläche identisch ist (Bild 2-2).

Gespanntes Grundwasser bei diesem Grundwassertyp liegt die Grundwasserdruckfläche über der Grundwasseroberfläche (Bild 2-2).

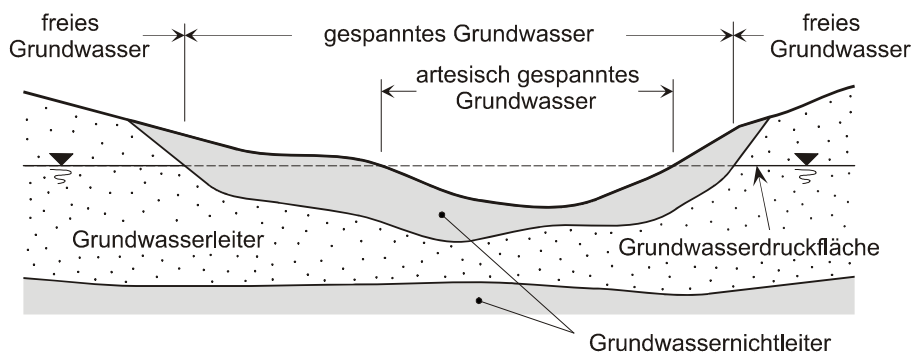


Bild 2-2 Freies und gespanntes Grundwasser

Artesisch gespanntes Grundwasser bei ihm liegt die Grundwasserdruckfläche über der Grundwasseroberfläche und über der Erdoberfläche (Bild 2-2).

Porendruck Druck der Flüssigkeit, mit der die Poren im Boden oder Fels gefüllt sind.

Grundwasserschwankungen Schwankungen der Grundwasseroberfläche und/oder des Porendrucks.

Grundwasserleiter wasserdurchlässiger Boden oder Fels, der geeignet ist, Grundwasser aufzunehmen oder zu leiten.

Grundwasserhemmer Grenzschicht aus Fels oder Boden, die die Strömung von Wasser in einen benachbarten Grundwasserleiter bzw. daraus behindert, jedoch nicht verhindert.

Grundwassernichtleiter Fels oder Boden mit sehr geringer Transmissivität (auch Profildurchlässigkeit genannt; Integral der Wasserdurchlässigkeit über die Mächtigkeit des Nichtleiters), wodurch die Wasserströmung durch den Boden oder Fels praktisch verhindert wird.

Grundwassersole untere Grenzfläche eines Grundwasserleiters.

Grundwasserstockwerk Grundwasserleiter einschließlich seiner oberen und unteren Begrenzung als Betrachtungseinheit innerhalb der senkrechten Gliederung der Erdrinde. Die Grundwasserstockwerke werden von oben nach unten gezählt (Bild 2-3).

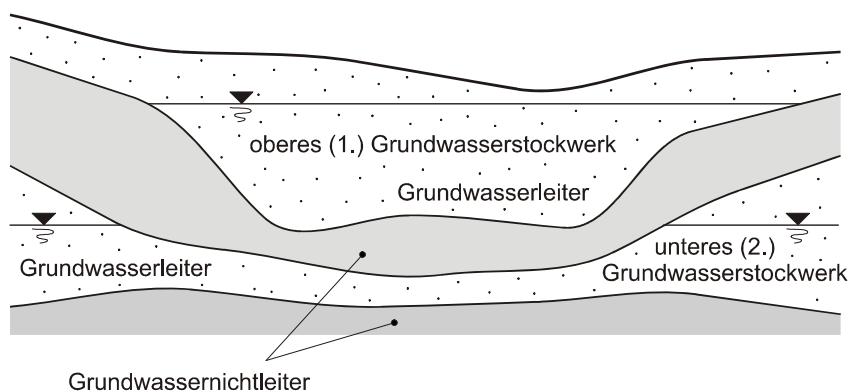


Bild 2-3 Grundwasserstockwerke

Grundwassermessung Messung der Grundwasseroberfläche oder des Porendrucks.

Grundwasserdruck Druck, der an einem bestimmten Ort im Baugrund (in Poren, Hohlräumen oder Klüften) und zu einer bestimmten Zeit herrscht.

Grundwassermessstelle Ort, an dem die Geräte für Grundwassermessungen installiert sind oder Grundwassermessungen durchgeführt werden.

Piezometer Einrichtung für die messtechnische Bestimmung der Grundwasseroberfläche oder der Grundwasserdruckhöhe in offenen und geschlossenen Systemen (Weiteres siehe DIN EN ISO 22 475-1).

2.4 Kapillarwasser

In Bodenporen, die nicht vollständig mit Grundwasser gefüllt sind, treten Oberflächenspannungen zwischen dem Boden und dem Wasser auf. Sie bewirken Kapillarkräfte, die mit abnehmender Porengröße zunehmen. Die Kapillarkräfte heben das Grundwasser in Form von Kapillarwasser um

$$h_k = \frac{4 \cdot \sigma_0 \cdot \cos \alpha}{d \cdot \gamma_w} \quad \text{Gl. 2-1}$$

über den Grundwasserspiegel (Bild 2-4). Mit der Wasserwichte $\gamma_w \approx 0,01 \text{ N/cm}^3$, der für feuchte und 10°C warme Luft geltenden Oberflächenspannung $\sigma_0 \approx 0,00075 \text{ N/cm}$ (vgl. [17]) und dem für Böden verwendbaren Benetzungswinkel $\alpha \approx 0^\circ$ (vgl. [172], Kapitel 1.3) ergibt sich für die kapillare Steighöhe die nicht dimensionsreine Beziehung

$$h_k (\text{in cm}) \approx \frac{0,3}{d (\text{in cm})} \quad \text{Gl. 2-2}$$

(z. B. bei der Kapillarbrechung in Dränschichten unter Bodenplatten zu berücksichtigen).

In Abhängigkeit vom Bodenmaterial und seiner Lagerungsdichte D (bei nichtbindigen Böden) differieren die passiven kapillaren Steighöhen in den Porenkanälen erheblich. Während sie z. B. bei Kies Werte im cm-Bereich annehmen, können sie in Feinschluff bis $\approx 50 \text{ m}$ (vgl. [180]) erreichen.

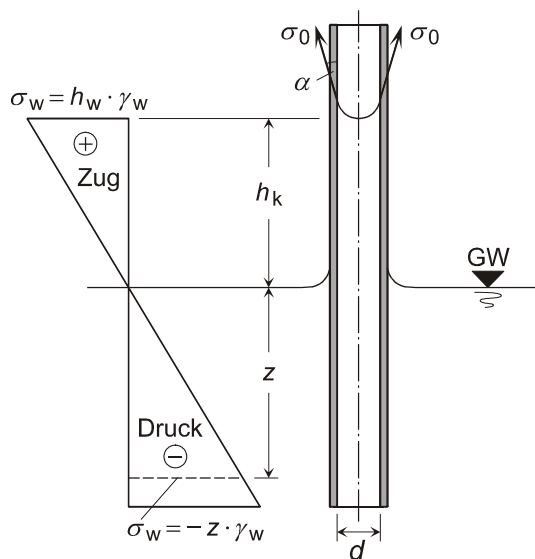


Bild 2-4 Zug- und Druckspannungsverlauf in einem Kapillarrohr

Da die Porenkanäle veränderliche Dicken aufweisen, entsprechen sie eher einem *Jamin*-Rohr als einem Kapillarrohr mit konstantem Durchmesser. Wird ein *Jamin*-Rohr in Wasser getaucht, steigt dieses im Rohr bis zur „aktiven“ kapillaren Steighöhe h_{ka} . Wird der Wasserspiegel danach abgesenkt, stellt sich eine größere und als „passiv“ bezeichnete kapillare Steighöhe h_{kp} (auch „kapillare Rückhaltehöhe“ genannt) ein (Bild 2-5).

Die unregelmäßigen Querschnittsformen der im Bodengefüge vorhandenen Porenkanäle sowie die Schwankungen des Grundwasserspiegels, die z. B. durch Niederschläge und durch Wasserabfluss bewirkt werden, führen zu einer sich unterschiedlich einstellenden kapillaren Steighöhe im Bodenmaterial. Das kapillar angehobene Grundwasser im Baugrund ist deshalb zu finden in der

- geschlossenen Kapillarzone (alle Poren dieses Bereichs sind mit Kapillarwasser gefüllt, vgl. Bild 2-1) und
- der offenen Kapillarzone (nur ein Teil der Poren dieses Bereichs ist mit Kapillarwasser gefüllt, vgl. Bild 2-1).

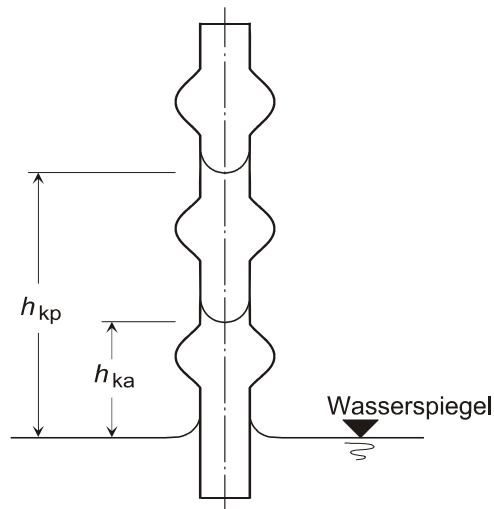


Bild 2-5 Jamin-Rohr mit aktiver (h_{ka}) und passiver (h_{kp}) kapillarer Steighöhe

Nach [172], Kapitel 1.3 kann die Höhe der geschlossenen Kapillarzone durch die Größe der kapillaren Rückhaltehöhe h_{kp} (auch „passive kapillare Steighöhe“ genannt) erfasst werden. Entsprechende Erfahrungswerte lassen sich Tabelle 2-1 entnehmen.

Tabelle 2-1 Erfahrungswerte für die kapillare Rückhaltehöhe einiger Bodenarten
(nach [170], Kapitel 1.5 und [172], Kapitel 1.3)

| Bodenart | Kapillare Rückhaltehöhe h_{kp} (in m) |
|----------------------|--------------------------------------------|
| Mittel- bis Grobkies | 0,05 |
| sandiger Kies | 0,08 |
| Mittel- und Grobsand | 0,20 |
| Fein- und Mittelsand | 0,50 |
| schluffiger Feinsand | 1,0 |
| Schluff | 5,0 |
| Ton | 50,0 |

Anwendungsbeispiel

Nachdem ein nach unten offener, mit trockenem nichtbindigem Boden gefüllter Behälter in 10 °C warmes Wasser gestellt wurde, stellte sich in dem Boden als größte aktive kapillare Steighöhe $\max h_{ka} = 36$ cm (Grenze der offenen Kapillarzone) und als kleinste Steighöhe $\min h_{ka} = 17$ cm (Grenze der geschlossenen Kapillarzone) ein.

Näherungsweise zu ermitteln sind die Durchmessergrößen (Angabe in mm) von Kapillarrohren, in denen sich kapillare Steighöhen einstellen, die den oben angegebenen Werten der geschlossenen und der offenen Kapillarzone entsprechen.

Lösung

Für 10 °C warmes Wasser kann die aktive kapillare Steighöhe näherungsweise durch die Gleichung Gl. 2-2

$$h_k \text{ (in cm)} \approx \frac{0,3}{d \text{ (in cm)}}$$

ermittelt werden. Durch Auflösung nach d ergeben sich somit die beiden Werte

$$d_{\text{offen}} \approx \frac{0,3}{36} = 0,0083 \text{ cm} = 0,083 \text{ mm} \quad \text{und} \quad d_{\text{geschlossen}} \approx \frac{0,3}{17} = 0,0176 \text{ cm} = 0,176 \text{ mm}$$

für die Durchmesser von Kapillarrohren, in denen sich kapillare Steighöhen einstellen, welche denen der offenen (d_{offen}) und der geschlossenen ($d_{\text{geschlossen}}$) Kapillarzone entsprechen.

2.5 Porenwinkelwasser

Als Porenwinkelwasser wird das Wasser im Bereich der Kontaktflächen (Porenwinkel) von Körnern feuchter nichtbindiger Böden bezeichnet (Bild 2-6).

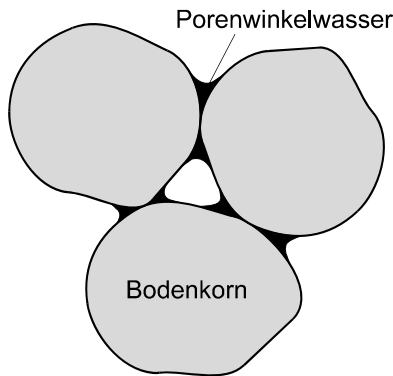


Bild 2-6 Bodenkörner mit Porenwinkelwasser

Durch die Kapillarkräfte des Porenwinkelwassers werden die Bodenkörner aneinandergedrückt. Dies führt zu einem „Aneinanderhaften“ der Körner, das als „Kapillarkohäsion“ (oder auch „scheinbare Kohäsion“) bezeichnet wird und sich insbesondere bei feinkörnigeren nichtbindigen Böden auswirkt. Wird der Wassergehalt eines nichtbindigen Bodens, zu dem die maximale Wirkung der Kapillarkohäsion gehört, verändert, reduziert sich die Kohäsion mit zunehmender Veränderung immer weiter. So verringern sich die Kapillarkräfte mit fortschreitender Austrocknung des Bodens bis hin zu ihrem endgültigen Wegfall bei vollständig trockenem Boden. Analog dazu reduziert sich die Kapillarkohäsion bei Wasserzugabe, da dadurch die Bodenporen mit Wasser aufgefüllt werden; endgültig verschwunden ist sie, wenn alle Bodenporen mit Wasser gefüllt sind. Tabelle 2-2 gibt Anhaltswerte für durch Kapillarkohäsion bewirkte Scherfestigkeiten von Böden.

Tabelle 2-2 Erfahrungswerte der Scherfestigkeit nichtbindiger Böden infolge Kapillarkohäsion (nach EAB, Tabelle 3.2)

| Bodenart | Bezeichnungen nach DIN 4022-1 [41] | Kapillarkohäsion $c_{c,k}$ (in kN/m ²) |
|---------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|
| sandiger Kies | G, s | 0–2 |
| Grobsand | gS | 1–4 |
| Mittelsand | mS | 3–6 |
| Feinsand | fS | 5–8 |

2.6 Hygroskopisches Wasser

Hygroskopisches Wasser (Adsorptionswasser) wird wegen der Dipoleigenschaften von Wassermolekülen (auf den sich gegenüberliegenden Molekülseiten liegen die Schwerpunkte der positiven und der negativen Ladung) von elektrisch negativ geladenen mineralischen Oberflächen der Bodenteilchen angezogen und an den Teilchenoberflächen angelagert (adsorbiert). Die Größe und der Verlauf (Bild 2-7) der Anziehungskraft ergeben sich nach *Busch/Luckner* [17] aus der Kombination von elektrostatischen und molekularen (*van der Waals'sche* Kräfte) Wirkungen.

Hygroskopisches Wasser umgibt die Bodenteilchen mit einer Schicht verdichteten Wassers, die als „diffuse Hülle“ oder auch „diffuse Schicht“ bezeichnet wird. In Abhängigkeit vom Elektrolytgehalt des Wassers nimmt ihre Dicke sehr unterschiedliche Größen an, womit entsprechende Reichweitenunterschiede der elektrostatischen Kraftwirkung verbunden sind (vgl. hierzu [192]). Das angelagerte Wasser hat die Konsistenz einer hochviskosen Flüssigkeit, wird zur Teilchenoberfläche hin zäh wie Eis und unmittelbar an der Oberfläche praktisch zum Bestandteil des Bodenteilchens.

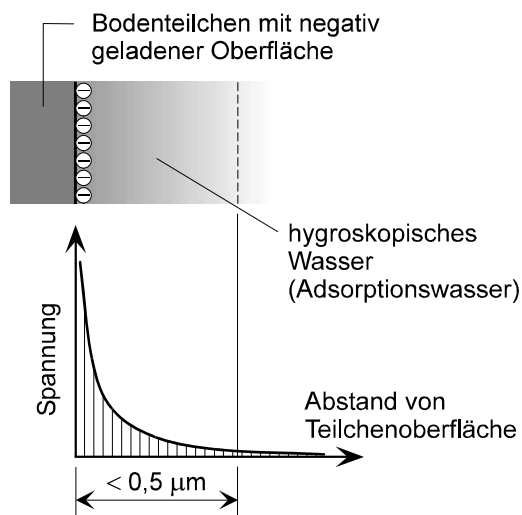


Bild 2-7 Verlauf der Anziehungsspannungen in der diffusen Hülle

2.7 Betonangreifende Grundwässer und Böden

Hinsichtlich der Beurteilung des Angriffsvermögens von Wässern und Böden auf erhärteten Beton können DIN 4030-1 und DIN 4030-2 herangezogen werden. Danach

- soll junger Beton im Allgemeinen mit betonangreifendem Wasser nicht in Berührung kommen (bei Bauteilen wie z. B. Ortbetonpfählen lässt sich der Kontakt allerdings nicht vermeiden),
- können Wässer und Böden betonangreifend sein, wenn sie z. B.
 - freie Säuren (erkennbar an pH-Werten < 7 ; betonangreifend ab pH-Werten $< 6,5$; wirken lösend auf Zementstein und carbonhaltige Gesteinskörnungen),
 - Sulfide (bei Zutritt von Sauerstoff und Feuchte ist u. a. ihre Oxidation zu Sulfaten und Schwefelsäure möglich),
 - Sulfate (Umsetzung mit einigen Calcium- und Aluminiumverbindungen des Zementsteins zu Calciumaluminatsulfathydraten oder Gips, wirkt ggf. treibend),
 - Magnesiumsalze (lösen Calciumhydroxid aus dem Zementstein),
 - Ammoniumsalze (lösen vorwiegend Calciumhydroxid aus dem Zementstein; davon ausgenommen sind Ammoniumcarbonat, -oxalat und -fluorid),

- pflanzliche und tierische Fette und Öle (mit dem Calciumhydroxid des Zementsteins bilden sie als Ester der Fettsäuren fettsaure Calciumsalze (Kalkseifen))
enthalten,
- können weiche Wässer (mit Härten < 30 mg Calciumoxid (CaO) je Liter) betonangreifend sein,
- enthält Grundwasser oft kalklösende Kohlensäure, Sulfate und Magnesiumverbindungen (Abwässer oder entsprechende Ablagerungen können höhere Konzentrationen von Schwefelwasserstoffen, Ammonium und betonangreifenden organischen Verbindungen bewirken).

Allgemeine Merkmale, die auf betonangreifende Bestandteile des Grundwassers hinweisen können, sind z. B. dunkle Färbung des Wassers, Salzausscheidungen, fauliger Geruch, Aufsteigen von Gasblasen oder saure Reaktionen. Die sichere Feststellung vorhandener betonangreifender Bestandteile des Grundwassers verlangt allerdings eine chemische Analyse gemäß DIN 4030-2. Bezüglich der Entnahme entsprechender Grundwasserproben mittels Pumpe, Wasserproben-Entnahmegesetz oder Vakuumflaschen sind die Ausführungen von DIN EN ISO 22475-1 zu beachten.

Tabelle 2-3 Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von natürlichen Wässern und Böden (nach DIN 4030-1, Tabelle 4 und DIN EN 1992-1-1, Tabelle 4.1)

| Chemisches Merkmal | Expositionsklasse | | |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| | XA1 (schwach angreifend) | XA2 (mäßig angreifend) | XA3 (stark angreifend) |
| Grundwasser | | | |
| 1 Sulfat (SO ₄ ²⁻), in mg/Liter | ≥ 200 und ≤ 600 | > 200 und ≤ 3 000 | > 3 000 und ≤ 6 000 |
| 2 pH-Wert | ≤ 6,5 und ≥ 5,5 | < 5,5 und ≥ 4,5 | < 4,5 und ≥ 4,0 |
| 3 kalklösende Kohlensäure (CO ₂), in mg/Liter | ≥ 15 und ≤ 40 | > 40 und ≤ 100 | > 100 bis Sättigung |
| 4 Ammonium (NH ₄ ⁺), in mg/Liter | ≥ 15 und ≤ 30 | > 30 und ≤ 60 | > 60 und ≤ 100 |
| 5 Magnesium (Mg ²⁺), in mg/Liter | ≥ 300 und ≤ 1 000 | > 1 000 und ≤ 3 000 | > 3 000 bis Sättigung |
| Boden | | | |
| 6 Sulfat ^{a)} (SO ₄ ²⁻), in mg/kg | ≥ 200 und ≤ 600 | > 200 und ≤ 3 000 ^{b)} | > 3 000 ^{b)} und ≤ 6 000 |
| 7 Säuregrad (nach <i>Bauman-Gully</i>) | > 200 | In der Praxis nicht anzutreffen | |

a) Tonböden mit einer Durchlässigkeit von < 10⁻⁵ m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingeteilt werden.

b) Besteht die Gefahr der Anhäufung von Sulfationen im Beton (zurückzuführen auf wechselndes Trocknen und Durchfeuchten oder kapillares Saugen), ist der Grenzwert von 3 000 mg/kg auf 2 000 mg/kg zu vermindern.

Zur Beurteilung des Angriffsgrades von natürlichen Wässern und Böden kann Tabelle 2-3 herangezogen werden. Die darin angegebenen Grenzwerte gelten für stehendes oder schwach fließendes, in großen Mengen vorhandenes Wasser, das unmittelbar auf den Beton einwirkt und bei dem die angreifende Reaktion mit dem Boden nicht vermindert wird. Temperatur- und Druckerhöhungen sowie starkes Fließen des Grundwassers oder zusätzlicher mechanischer Abrieb des Betons

durch schnell fließendes Wasser führen zur Verstärkung des Angriffsgrads. Der Angriffsgrad reduziert sich mit abnehmender Durchlässigkeit des Bodens sowie bei Temperaturabnahme bzw. bei nur in geringen Mengen anstehendem Wasser. Dies gilt auch für sich nahezu nicht bewegendes Wasser, das nur eine langsame Erneuerung der betonangreifenden Bestandteile zulässt (z. B. wenig durchlässige Böden mit Durchlässigkeitsbeiwerten $k < 10^{-5}$ m/s).

Zur Beurteilung des Angriffsgrads des Wassers oder Bodens ist der höchste Angriffsgrad gemäß Tabelle 2-3 maßgebend. Der Angriffsgrad erhöht sich um eine Stufe, wenn zwei oder mehr Werte im oberen Viertel eines Bereichs liegen (bei pH-Werten im unteren Viertel).

Nach [220] sollten für Beton, der chemischen Angriffen unterliegt, im Allgemeinen Gesteinskörnungen (Betonzuschlag) verwendet werden, die gegenüber den angreifenden Stoffen beständig sind. Schwachen Angriffen widersteht ein Beton bei einer Expositionsklasse XA1 (Tabelle 2-3), wenn er einen Wasserzementwert $w/z \leq 0,6$ aufweist. Bei der Expositionsklasse XA2 ist ein Wasserzementwert von $w/z \leq 0,55$ und bei der Expositionsklasse XA3 ein dauerhafter Schutz (dichte Kunststoffbeschichtungen, Dichtungsbahnen, Plattenverkleidungen oder auch eine Vergrößerung des Betonquerschnitts) erforderlich. Bei Stahlbeton ist auch die Betondeckung auf den jeweiligen Angriffsgrad abzustimmen. Bei Sulfatgehalten ab 600 mg SO_4 je Liter Grundwasser bzw. ab 3 000 mg SO_4 je kg Boden ist, unabhängig vom jeweils vorliegenden Angriffsgrad, außer einem entsprechend dichten Beton ein Zement mit hohem Sulfatwiderstand zu verwenden.

2.8 Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse

Im Zuge von Baugrunduntersuchungen sind in der Regel auch die Grundwasserverhältnisse zu erfassen, da von ihnen ggf. erforderliche Maßnahmen wie Grundwasserhaltungen, Abdichtungen, Dränungen usw. abhängig sind.

Nach Abschnitt 2.1.4 von DIN EN 1997-2 und DIN 4020 sowie nach [210] müssen Grundwasseruntersuchungen all die Informationen liefern, die für die geotechnische Bemessung und das Bauen erforderlich sind. Abhängig von der Aufgabenstellung sind mit Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse ggf. Informationen zu gewinnen über

- die Tiefenlage, Mächtigkeit, Ausdehnung und Durchlässigkeit wasserführender Schichten im Baugrund und der Kluftsysteme in Fels,
- die Fließrichtung und die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers,
- die Tiefenlage und Ausdehnung wasserstauer Bodenschichten,
- die Höhenlage der Grundwasseroberfläche oder -druckfläche der Grundwasserstockwerke (frei oder gespannt) und deren zeitabhängige Veränderungen (aktuelle Grundwasserstände mit den möglichen Extremwerten und ihren jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten),
- die chemische Beschaffenheit und ggf. die Temperatur des Wassers,
- Porenwasserdruckverteilungen.

Der Untersuchungsumfang sollte, in Verbindung mit Vorinformationen (z. B. aus vorhandenen Unterlagen) und in Hinblick auf die geplanten Baumaßnahmen, die Bewertung von Aspekten ermöglichen, wie etwa

- der Möglichkeit einer Grundwasserhaltungsmaßnahme (Art, Umfang, Ausführung und ihre Auswirkungen auf die Umgebung),
- der Möglichkeit, das Grundwasser als Brauchwasser für bautechnische Zwecke zu nutzen,
- der Beurteilung der gefährdenden Wirkung des Grundwassers bei Abgrabungen oder Böschungen (z. B. Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs, Größe des Strömungsdrucks, Gefahr der Erosion),

- der Beurteilung von Maßnahmen zum Schutz des Bauwerks (Abdichtung gegen Grundwasser, Entwässerung, Maßnahmen gegen aggressives Wasser sowie hydrostatischen Druck usw.),
- der Ermittlung der Fähigkeit des Untergrunds, während der Bauarbeiten zugeführtes Wasser aufzunehmen,
- der Beurteilung der chemischen Zusammensetzung des örtlich anstehenden Grundwassers bezüglich seiner Verwendbarkeit für bautechnische Zwecke,
- der Beurteilung der Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen, Trockenlegungen, Wasseranstau usw. auf die Umgebung.

Der Untersuchungsumfang ist in Abhängigkeit von den jeweiligen Fragestellungen des Einzelfalls gesondert festzulegen (ggf. unter Hinzuziehung eines Sachverständigen für Geotechnik, siehe auch Abschnitt 3.3).

In [39], Tabelle 1 sind Angaben zur Eignung von Bohrungen, Feldversuchen und Laborversuchen bezüglich der Ermittlung einzelner Parameter der Grundwasserverhältnisse in Boden bzw. Fels zu finden. Aus Tabelle 2 geht u. a. hervor, wo ggf. Informationen zu langjährigen Grundwasserverhältnissen eingeholt werden können.

Tabelle 2-4 Informationsstellen für vorhandene Unterlagen (nach [39], Tabelle 2)

| Unterlagen | Übliche Informationsstellen |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| geologische Verhältnisse | Geologische Landesämter |
| Bohrprofile | Geologische Landesämter, Bauämter bzw. Dienste, Umweltämter |
| langjährige Grundwasserverhältnisse | Wasserwirtschaftsverwaltungen, Bauverwaltungen bzw. Dienste, Geologische Landesämter, Versorgungsunternehmen |
| Veränderungen durch Flussbau und Landesbaukultur | Vermessungsämter, Wasserwirtschaftsverwaltungen, Flurbereinigungsämter |
| Bergbau, Bergsenkung | Bergämter, Geologische Landesämter, Bergwerksgesellschaften |
| Erdbeben | Erdbebenwarten, Geophysikalische Institute, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover |
| örtliche Besonderheiten von Boden und Fels | Geotechnische Institute bzw. Dienste, Geologische Landesämter, Geologische Karten, Baugrundkarten 1 : 25 000 mit Erklärungen |
| Setzungsbeobachtungen | Bauverwaltungen, Bauherren, Geotechnische Institute |
| jüngere Bauvorgänge in der Nachbarschaft | örtliche Bauämter |
| Baumaßnahmen in historischer Zeit | Landesdenkmalämter, örtliche und regionale Archive |
| Altlasten | Umweltämter, Bauämter, Wasserwirtschaft, Geologische Landesämter, Verwaltungsämter |
| Kampfmittel | Kampfmitteldienste |

Bezüglich der Auswahl und des Einsatzes von Messgeräten, die bei der Ermittlung physikalischer und physikochemischer Parameter von Grundwasser zum Einsatz kommen können, sei z. B. auf [144] verwiesen. Es sind dort u. a. Ausführungen zu Temperatur-, Leitfähigkeits- und pH-Messgeräten sowie zu Datensammlern für die Grundwassermessungen und zu Messverfahren zur Wasserstandsmessung zu finden. Hinsichtlich der Entnahme von Grundwasserproben mittels

Pumpe, Wasserproben-Entnahmegesät oder Vakuumflaschen sind die entsprechenden Ausföhrungen von DIN EN ISO 22475-1 zu beachten.

2.9 Grundwassermessstellen

Bei der Festlegung der Abmessungen und der konstruktiven Ausgestaltung von Bauwerken, die im Grundwasser stehen oder durch Grundwasserbereiche föhren, ist es, sowohl in technischer Hinsicht als auch in Hinblick auf die Baukosten, von großer Bedeutung, die Höhenlage des Grundwasserspiegels bzw. der Grundwasserdruckflähe zu kennen. Da Niederschläge, Wasserentnahmen usw. diese Höhenlage beeinflussen, stellen sowohl die zeitliche Entwicklung dieser Lage als auch deren Höchst-, Mittel- und Tiefstwerte wichtige Informationen dar. Insbesondere bei der Wasserentnahme zum Zwecke der Trockenlegung von Baugruben gilt dies nicht nur für die zu errichtenden Bauwerke selbst, sondern auch für Gebäude und Vegetation (z. B. Bäume in Parkanlagen), die durch diese Entnahme betroffen sind (siehe z. B. [12]).

Die Ermittlung der zeitveränderlichen Grundwasserstände erfolgt durch Messungen, für die in der Regel spezielle Messstellen eingerichtet werden. Gegebenenfalls können auch Bohrungen, die im Rahmen von Baugrundaufschlüssen niedergebracht wurden, zu Grundwassermessstellen ausgebaut werden. In Bild 2-8 ist eine Möglichkeit für den Ausbau einer Grundwassermessstelle gezeigt.

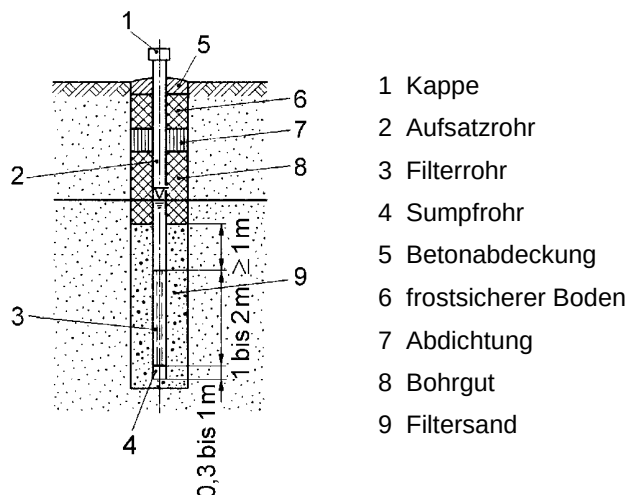


Bild 2-8 Ausbauplan für eine Grundwassermessstelle bei freiem Grundwasser im obersten Grundwasserstockwerk (nach [40])

Zur Wasserstandsermittlung mit Hilfe von Einzelmessungen stehen Kabellichtlote (Bild 2-9 a) zur Verfügung, bei denen ein an einem Messkabel hängendes Lot in die Messstelle abgesenkt wird. Sobald eine in das Lot eingebaute Elektrode mit dem Wasser in Beröhrung kommt, wird ein optisches und ggf. akustisches Signal ausgelöst; die Messtiefe kann dann an der Skala des Messkabels abgelesen werden. Sind Wasserstände kontinuierlich und über längere Zeit zu ermitteln, lassen sich die entsprechenden Messungen unter Verwendung von dauerhaft installierbaren

– Schwimmern und Drucksonden

durchföhren (Bild 2-9). Der einfachere und billigere Schwimmer ist bei nicht gespanntem Wasserspiegel einsetzbar. Das gilt auch für die mit größerer Genauigkeit arbeitende Drucksonde, die außerdem auch bei artesisch gespanntem Wasser bzw. in Messstellen mit besonders starken Schwankungen des Wasserpegels eingesetzt werden kann. Die Sonde wird dabei unter den zu erwartenden

minimalen Wasserstand in die Messstelle eingehängt, um so sicherzustellen, dass die Wasserstandsänderungen ausschließlich Änderungen des Wasserdrucks hervorrufen, der von der Sonde gemessen und durch die Messeinrichtung auf den jeweiligen Wasserstand zurückgerechnet wird. Temperatur- und Luftdruckschwankungen werden dabei über die Messeinrichtung kompensiert.

Die Messwerte können z. B. kontinuierlich auf Papiertrommeln aufgezeichnet (preisgünstige Version bei Langzeitbeobachtungen in weiter abgelegenen Messstellen, bei denen keine Grenzwertüberwachung erfolgt) oder in beliebigen Zeitabständen als digitalisierte Werte von unterbrechungslos anfallenden analogen Messsignalen festgehalten werden. Digitalgrößen lassen sich vor Ort speichern, mittels entsprechender Handgeräte „auslesen“ und so einer Auswertestelle zur Verfügung stellen; sie können aber auch per geeigneter Datenfernübertragung (Telefonleitung, Standleitung, Funkverbindung, direkt über Satellit usw.) an einen Auswerterechner übergeben werden (vgl. z. B. [194]).

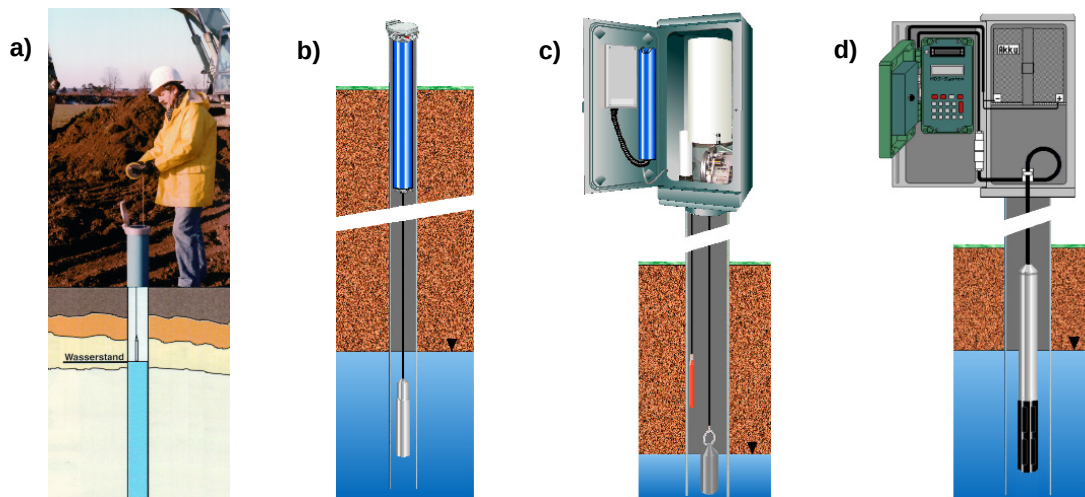


Bild 2-9 Geräte und Einrichtungen zur diskreten (a) und kontinuierlichen (b, c und d) Messung von Wasserständen (aus Prospekt der Fa. SEBA [F 9])
 a) Kabellichtlot zur Einzelmessung von Wasserständen
 b) Drucksonde, kombiniert mit auslesbarem digitalem Datensammler
 c) Schwimmer und Gegengewicht mit Potentiometer und Vertikal-Registrierpegel
 d) Station zur Messung von Wasserstand und Wasserqualität (Temperatur, pH-Wert, Redoxpotenzial, Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff)

Von dem Auswerterechner können digitalisierte Messergebnisse sowohl in Form von Zahlenwerten als auch grafisch aufbereitet zur Verfügung gestellt werden. Der Vorteil der Ergebnisgrafik liegt in der schnellen Erkennbarkeit der Messergebnisse und davon abgeleiteter Beziehungen, wie sich das anhand von Bild 2-10 und von Bild 2-11 zeigen lässt. Bild 2-10 zeigt vier Gangliniendiagramme eines Messnetzes mit bis zu 120 Messstellen und Bild 2-11 einen aus der Gesamtheit der Ganglinien ermittelten Grundwassergleichenplan. Dieser Grundwassergleichenplan basiert auf den gemessenen Grundwasserständen aller Messstellen zu einem festgelegten Zeitpunkt, wobei die in den Plan eingezeichneten Isohypsen die Punkte mit gleichen Grundwasserspiegelhöhen verbinden (Isohypsen sind mit Höhenlinien von Wanderkarten vergleichbar, ihre Genauigkeit hängt im Wesentlichen von der Zahl (Dichte) der Messstellen ab). Die Bilder wurden dem Beweissicherungsbericht [177] für die Baumaßnahmen zu den Verkehrsanlagen im zentralen Bereich Berlin (VZB) und den Neubauten im Parlaments- und Regierungsviertel entnommen, der bei der „Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie“ von Berlin öffentlich zugänglich be-

reithalten wird. Auswertungen dieser Art sind unverzichtbar, wenn es z. B. um die Kontrolle, Beweissicherung und Beeinflussung (z. B. durch Reinfiltrierung) stark zeitveränderlicher Grundwasserverhältnisse geht (siehe auch [194] und [209]).

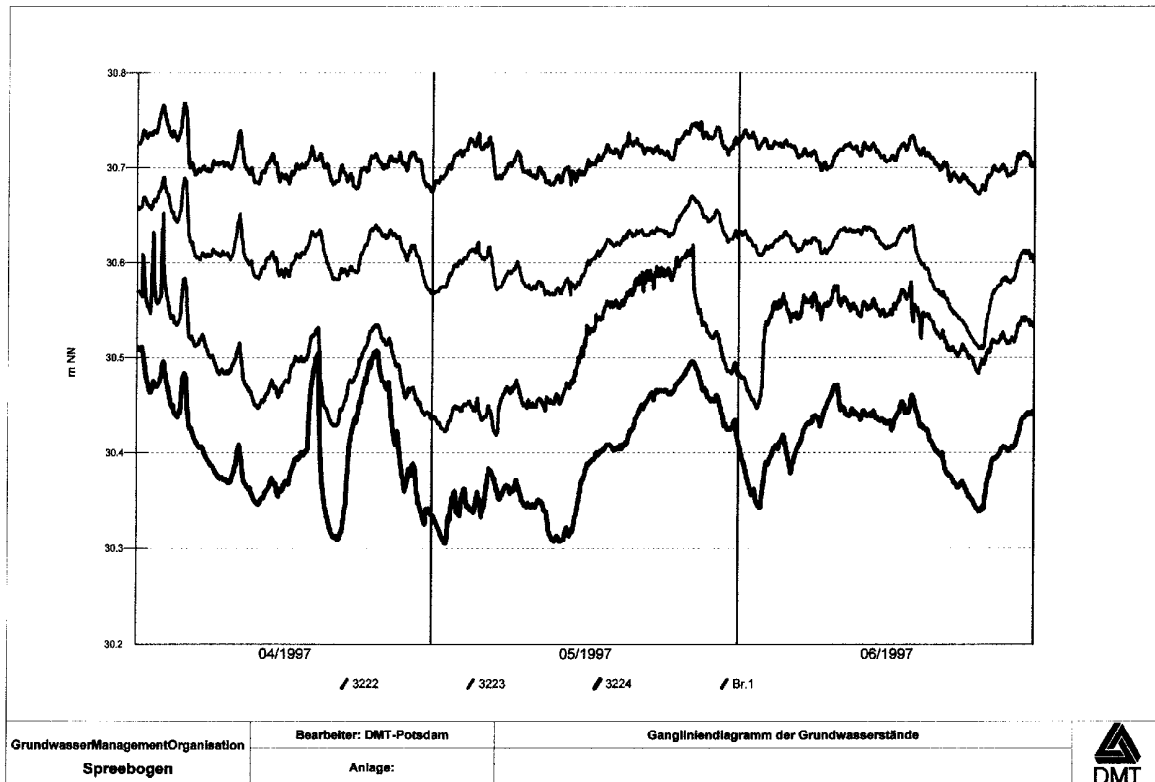


Bild 2-10 Gangliniendiagramme der Grundwasserstände von 4 Messstellen (aus [177], zur Verfügung gestellt von der Firma DMT-Potsdam [F 3])

Zu erwähnen ist, dass Betreiber von Grundwassermessnetzen seit einigen Jahren die von ihnen ermittelten Daten im Internet zur Verfügung stellen. So können z. B. vom Bayerischen Landesamt für Umwelt bzw. vom Niedrigwasser-Informationsdienst, vom Gewässerkundlichen Dienst und vom Hochwassernachrichtendienst zur Verfügung gestellte Daten von Grundwassermessstellen in Bayern derzeit über die Internetadresse

<http://www.lfu.bayern.de/wasser/grundwasserstand/messdaten/index.htm>

eingesehen werden. Durch entsprechende Mouseclicks lassen sich Karten mit Messstellen öffnen, die von den Diensten betrieben werden. Das Anklicken einer entsprechenden Markierung führt zur Seite der ausgewählten Messstelle, auf der u. a. Angaben zur Messstelle und Messwerte des vergangenen Jahres bzw. des gesamten Zeitraums, in dem die Messstelle betrieben wurde zu finden sind. Bezüglich der Messstellenangaben sei als Beispiel die im Landkreis Freising belegene Grundwassermessstelle „Freising 275C“ herangezogen, deren Geländehöhe bzw. Ausbautiefe unter Gelände mit 448,48 m über NN bzw. 9,30 m angegeben wird. An ihr werden seit dem Jahr 1938 Messungen durchgeführt. Neben Ganglinien und tabellarisch zusammengestellten Messwerten finden sich z. B. auch Angaben zu Extremalwerten, wie den in der Zeit seit 1938 aufgetretenen höchsten bzw. niedrigsten Wasserstand von 444,25 bzw. 441,51 m ü. NN.

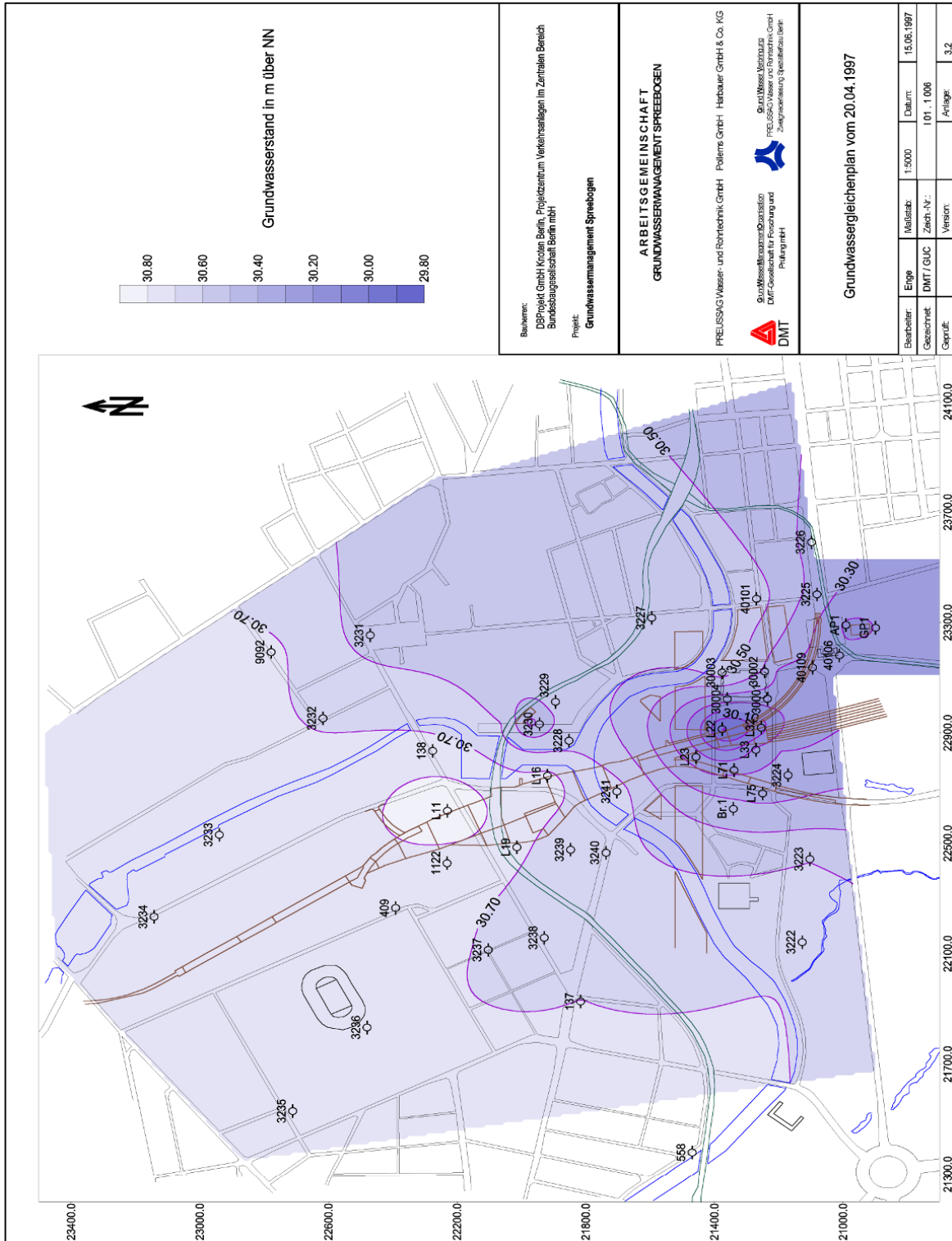


Bild 2-11 Grundwassergleichenplan (aus [177], zur Verfügung gestellt von der Firma DMT-Potsdam [F 3])