



Leseprobe

Jens Engel, Carsten Lauer

Einführung in die Boden- und Felsmechanik

Grundlagen und Berechnungen

ISBN (Buch): 978-3-446-45317-3

ISBN (E-Book): 978-3-446-45318-0

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45317-3>

sowie im Buchhandel.

Vorwort

Zum Aufgabenbereich von Bauingenieuren und Architekten gehört auch die Planung von Gründungen, Baugruben und Geländesprüngen. Die Grundlagen dafür werden im Studium durch Fächer vermittelt, die häufig unter der Bezeichnung Geotechnik zusammengefasst werden. Das vorliegende Buch behandelt die Grundlagen der Bodenmechanik als Teil der Geotechnik, ergänzt um einige ingenieurgeologische und felsmechanische Aspekte, die bei der Bearbeitung von Bauvorhaben zu beachten sind. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Untersuchungsmethoden zur Feststellung der Eigenschaften von Boden und Fels und der Vorstellung der grundlegenden Berechnungsverfahren der Bodenmechanik.

Zur praktischen Übung des Stoffes wird die Planung einer Verkehrsstrasse benutzt, die aus einer Brücke über einen Fluss und einem anschließenden Dammbauwerk auf weichem Untergrund besteht. Die in den einzelnen Kapiteln angeführten Übungsaufgaben beziehen sich auf dieses Lehrbeispiel. Aufgabenstellung und Lösungshinweise sind im Internet abrufbar unter:

<http://www.zaft.htw-dresden.de/bodenmechanik>

Das vorliegende Buch kann vorlesungsbegleitend und für das Selbststudium genutzt werden. Es soll Hilfs- und Arbeitsmittel für die Lösung der Aufgaben sein. In der vorliegenden Auflage sind deshalb einige Tabellen und Nomogramme überarbeitet und teilweise ergänzt worden.

Dies betrifft die Auswertung von Labor- und Feldversuchen und die grundlegenden bodenmechanischen Berechnungsverfahren, z. B. Erddruck-, Grundbruch-, Geländebruch- oder Setzungsberechnungen.

Neben der Vermittlung der Lehrinhalte der Bauingenieurausbildung sind auch Erfahrungen im Zusammenhang mit der Bearbeitung baupraktischer Projekte in begrenztem Umfang mit eingeflossen. Nicht alles konnte gleichermaßen detailliert dargestellt werden. Wir hoffen, dass das Buch ein Hilfsmittel für Studierende wie auch für im Beruf tätige Ingenieure sein kann. Hinweise zu Korrekturen oder Ergänzungen nehmen wir gern entgegen.

Dresden, Juni 2017
Jens Engel, Carsten Lauer

Inhalt

1 Einführung: Aufgaben und Ziele der Bodenmechanik	13
1.1 Entwurf eines Bauwerks – Rolle der Geotechnik im Bauingenieurwesen	13
1.2 Boden- und Felsmechanik als Teil des Bauingenieurwesens	15
1.3 Beispiel für ein Bauprojekt: Beschreibung	16
2 Geologische Grundlagen	19
2.1 Nutzen geologischer Informationen für Bauprojekte	19
2.2 Allgemeine geologische Grundlagen	21
2.2.1 Aufbau der Erde im Überblick	21
2.2.2 Geologische Zeitrechnung	23
2.3 Hydrogeologische Grundlagen	28
2.3.1 Kreislauf des Wassers, Bilanzgleichung	28
2.3.2 Wasser im Untergrund	29
2.3.3 Grundwasserleiter	30
2.3.4 Quellen	32
2.4 Minerale	32
2.4.1 Systematik der Minerale	33
2.4.2 Mineralbestimmung auf Grundlage physikalischer Eigenschaften	37
2.4.3 Gesteinsbildende Minerale	39
2.5 Gesteine	39
2.5.1 Kreislauf der Gesteine	40
2.5.2 Gesteinsarten – Überblick	41
2.5.2.1 Magmatische Gesteine	41
2.5.2.2 Sedimentgesteine	42
2.5.2.3 Metamorphite	44

3 Baugrund (Gebirge)	46
3.1 Fels	46
3.1.1 Gesteinsbestimmung	46
3.1.1.1 Struktur	46
3.1.1.2 Textur	47
3.1.1.3 Gesteinsbestimmung an Handstücken	47
3.1.2 Gestein-Fels-Gebirge	51
3.1.3 Benennung und Beschreibung von Fels	51
3.1.3.1 Benennung und Beschreibung des Gesteins	52
3.1.3.2 Verwitterungsgrad	54
3.1.3.3 Trennflächengefüge	54
3.1.4 Gebirgsklassifizierung mit dem <i>Q</i> -System (Quality-System)	56
3.1.5 Berechnung von Gebirgskennwerten, Gebirgsklassifizierung GSI	59
3.2 Böden (Lockergesteine)	62
3.2.1 Unterscheidungskriterien	62
3.2.2 Benennung und Beschreibung	64
4 Erkundung und Untersuchung von Boden und Fels in situ	67
4.1 Vorbereitung, Planung	67
4.1.1 Grundlagen – Aufgabenstellung	67
4.1.2 Planungshinweise, Informationsquellen	69
4.1.3 Geologische Karten	70
4.2 Baugrunderkundung	72
4.2.1 Geotechnische Kategorien	73
4.2.2 Umfang der Erkundung	74
4.2.3 Erkundungsarten	78
4.2.3.1 Direkte Aufschlüsse, Probenahme	78
4.2.3.2 Indirekte Verfahren: Sondierungen	83

5 Kennwerte von Boden und Fels	87
5.1 Klassifikationskennwerte	87
5.1.1 Stoffbestand	87
5.1.1.1 Phasenzusammensetzung	87
5.1.1.2 Beimengungen	93
5.1.1.3 Korngrößenverteilung	94
5.1.2 Stoffzustand: Grenzwerte des Stoffbestands	97
5.1.2.1 Konsistenzgrenzen bindiger Böden	98
5.1.2.2 Grenzen der Lagerungsdichte	102
5.1.3 Klassifizierung – Bodengruppen nach DIN 18196	103
5.2 Gütekontrolle im Erdbau, Verdichtung	105
5.2.1 Proctorkennwerte	105
5.2.2 Verdichtungskontrolle	106
5.3 Mechanische und hydraulische Größen	110
5.3.1 Strömung	110
5.3.2 Spannungen und Kräfte	111
5.3.2.1 Mohrscher Kreis	111
5.3.2.2 Wirksame Spannung	112
5.3.2.3 Eigengewicht des Bodens	114
5.3.3 Verformungsmaße	115
5.4 Durchlässigkeit	116
5.4.1 Grundlagen	116
5.4.2 Experimentelle Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts	117
5.5 Scherfestigkeit	122
5.5.1 Grundlagen	122
5.5.1.1 Bruchbedingung	122
5.5.1.2 Einflüsse auf φ und c	125
5.5.2 Experimentelle Ermittlung	128

5.5.2.1	Direktscherversuch	128
5.5.2.2	Einaxiale Druckfestigkeit	129
5.5.2.3	Triaxialversuch	129
5.6	Zusammendrückbarkeit	132
5.6.1	Grundlagen	132
5.6.2	Druck-Setzungs-Linie: Kennwertansätze	133
5.6.3	Zeit-Zusammendrückungs-Verhalten	137
5.6.4	Experimentelle Bestimmung – Ödometerversuch	142
5.6.5	Plattendruckversuch	143
5.7	Klassifizierungskriterien	144
5.7.1	Homogenbereiche zur Leistungsbeschreibung	145
5.7.2	Frostempfindlichkeit	146
5.8	Mittlere Kennwerte, Korrelationen	150
5.8.1	Näherungen für nichtbindige Böden	150
5.8.2	Bindige Böden	151
6	Strömung und Transport	159
6.1	Strömungskraft	159
6.2	Beschreibung von Strömungsfeldern	159
6.3	Filterstabilität	163
7	Tragfähigkeit	165
7.1	Grundlagen	165
7.1.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit in der Boden- und Felsmechanik	165
7.1.2	Idealisierung von Phänomenen	165
7.1.3	Kritisches Hauptspannungsverhältnis – Grenzzustände	166
7.2	Erddruck	168
7.2.1	Einführung	168
7.2.1.1	Arten des Erddrucks	168

7.2.1.2	Erddruckneigung	170
7.2.2	Grundlagen der Berechnung	172
7.2.2.1	Verfahren mit Gleitflächen	172
7.2.2.2	Untersuchung des Spannungszustands	176
7.2.3	Aktiver Erddruck	177
7.2.3.1	Grafische Verfahren	178
7.2.3.2	Analytische Berechnung – Erddruckbeiwerte	179
7.2.4	Passiver Erddruck	187
7.2.4.1	Grundlagen der Berechnung	187
7.2.4.2	Erddruckbeiwerte, ebener Fall	188
7.2.4.3	Räumlicher passiver Erddruck	193
7.2.5	Erdruchdruck	193
7.2.5.1	Grundlagen	193
7.2.5.2	Erddruckbeiwert K_{0gh}	193
7.2.5.3	Vorbelastete Böden, Kohäsion	194
7.2.6	Zwischenwerte, Sonderfälle des Erddrucks	194
7.2.6.1	Mobilisierung des passiven Erddrucks	194
7.2.6.2	Verdichtungserddruck	197
7.2.6.3	Sonderfall – Silodruck (begrenzte Hinterfüllung)	198
7.3	Grundbruch	198
7.3.1	Einführung	198
7.3.2	Ein einfacher Lösungsansatz	199
7.3.3	Allgemeiner Berechnungsansatz	200
7.3.3.1	Anforderungen	200
7.3.3.2	Tragfähigkeitsbeiwerte, Grundbruchfigur	202
7.3.3.3	Nachweisführung	203
7.4	Standsicherheit von Böschungen, Geländebruch	208
7.4.1	Grundlagen	208

7.4.2	Berechnungsgrundlagen bei Gleitrutschungen	210
7.4.2.1	Ebene Gleitfläche	210
7.4.2.2	Kreisförmige Gleitfläche	212
7.4.2.3	Lamellenfreie Kreisgleitfläche mit $c' > 0$ und $\varphi' > 0$	214
7.4.2.4	Beliebige Gleitflächen	215
7.4.3	Berechnungsverfahren (Auswahl)	216
7.4.3.1	Lamellenverfahren mit Kreisgleitflächen	217
7.4.3.2	Starrkörperverfahren	218
7.4.3.3	Bemessungshilfen für einfache Fälle	219
8	Berechnung von Verformungen des Baugrunds	221
8.1	Spannungsausbreitung im Baugrund	221
8.1.1	Grundlagen	221
8.1.2	Elementare Lösungen	222
8.1.3	Berechnung der Spannungsverteilung	225
8.2	Berechnung von Setzungen	231
8.2.1	Einführung	231
8.2.2	Grundlagen der rechnerischen Ermittlung	231
8.2.3	Ermittlung der Setzungen auf Grundlage einer Druck-Setzungs-Kurve	234
8.2.4	Berechnung der Setzung und Schiefstellung starrer Fundamente	236
8.3	Bestimmung des Bettungsmoduls	239
	Literatur	241
	Index	247

2 Geologische Grundlagen

2.1 Nutzen geologischer Informationen für Bauprojekte

Aus der geologisch-mineralogischen und der geohydraulischen Bewertung des Untersuchungsgebiets ergeben sich wichtige Schlussfolgerungen bezüglich der Eigenschaften des Untergrunds. Durch die Verbindung geologischer Grundlagen mit ingenieurtechnischen Überlegungen ist die Fachrichtung Ingenieurgeologie entstanden, die geologische, boden- und felsmechanische Methoden kombiniert. Es werden hier nur diejenigen ingenieurgeologischen Aspekte behandelt, die für die Tätigkeit des Bauingenieurs von Bedeutung sind. Dies betrifft vor allem das Verständnis der geologischen Begriffe und Beschreibungen, sowie die Erkundung des Untergrunds als Baugrund und als Baustoff.

Ziel der Tätigkeit des Bauingenieurs ist es, die Eigenschaften des Untergrunds soweit zu erkunden, dass eine wirtschaftliche und sichere Bemessung des Bauwerks möglich ist. Bevor zeit- und kostenintensive Untersuchungen veranlasst werden, müssen alle verfügbaren Informationen ausgewertet worden sein, die Hinweise auf die Eigenschaften des Baugrunds liefern können. Dazu gehört die Bewertung der topographischen, klimatischen und geologischen Bedingungen in der Umgebung der geplanten Baumaßnahme und besonders der Entstehungsgeschichte des Bodens. Grundkenntnisse über die Erdgeschichte, den Aufbau der Erde und die Zusammensetzung und Entstehung der Gesteine vermitteln die naturwissenschaftlichen Fachgebiete Geologie und Mineralogie.

Für die Beschaffung von Informationen über das Bauvorhaben und die örtlichen Gegebenheiten werden Karten, das Internet, Datensammlungen in Behörden, Institutionen oder anderen Einrichtungen und vor allem Ortsbesichtigungen genutzt. Beispiele für Hinweise, die berücksichtigt werden sollten:

- Verkehrswege zum Baufeld für Erkundung, Transporte oder andere Zwecke.
- Beschaffenheit des Geländes (Böschungsneigung, Bewuchs, Befahrbarkeit, Überflutung).
- Allgemeine Topographie (Geländeneigung).
- Hinweise zum Wasser im Baugrund (offene Gewässer, Brunnen, usw.)

Beispielprojekt

- **Topographie:** südlich der Dinalbe eben und flach, nördlich ansteigendes Gelände von 105 m auf ca. 140 m über NN.
- **Gewässer Fluss:** südlich häufige Überflutungen, feinkörnige, meist weiche Sedimente, Flussauen feucht und sumpfig.
- **Wasserstand:** Grundwasser kommuniziert mit Wasserstand im Fluss.
- **Hang nördlich:** standfeste Böden, evtl. Festgestein unterhalb der Deckschicht.

- Überlieferte Hinweise auf Probleme (z. B. Straßennamen in Bergbaugebieten, Objektbezeichnungen „Alte Ziegelei“, Bezeichnungen für Landschaften „Obermoor“, „Heide“, usw.).

Ein Ergebnis der ingenieurgeologischen Untersuchungen ist die Benennung und Beschreibung des Baugrunds. Dadurch ist es möglich, die Eigenschaften qualitativ abzuschätzen. In Verbindung mit boden- und felsmechanischen Untersuchungen und unter Berücksichtigung der Baumaßnahme erfolgt anschließend die zahlenmäßige Beschreibung der Baugrundeigenschaften als Teil der Tätigkeit des Bauingenieurs.

Bei der Standortwahl und der Planung der Erkundungsmaßnahmen für ein Bauwerk sind ingenieurgeologische Überlegungen unverzichtbar. Vor allem bei Projekten, bei denen mit Auswirkungen auf ausgedehnte Bereiche des Untergrunds zu rechnen ist, z. B. Talsperren, Tunnel, langen Einschnitten, Dammbauwerken oder Felsböschungen sollten Geologen in die Untersuchungen eingebunden werden.

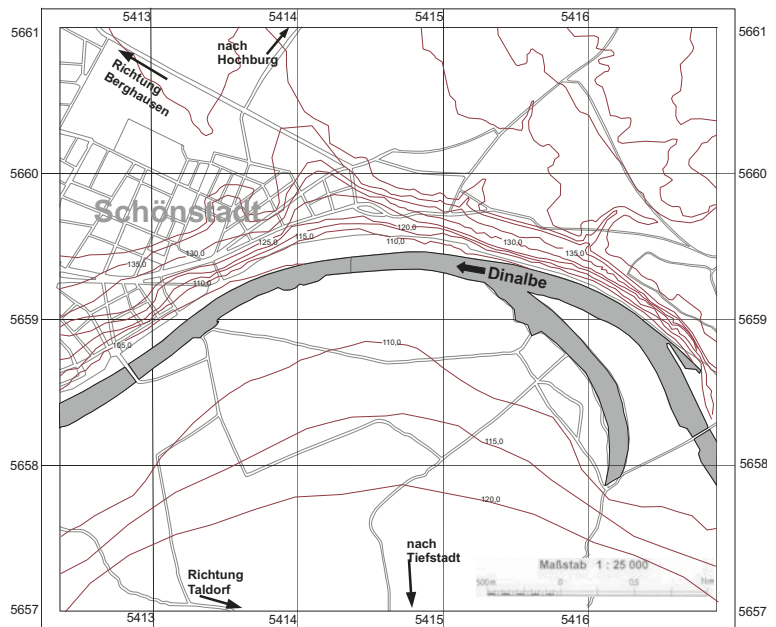


Bild 2.1: Kartenausschnitt des Gebiets um Schönstadt

2.2 Allgemeine geologische Grundlagen

2.2.1 Aufbau der Erde im Überblick

Die Erde ist geometrisch ein deformierter Rotationsellipsoid – ein birnenförmiger Geoid. Die Dichte ρ ist das Verhältnis von Masse und Volumen $\rho = \frac{m}{V}$. Eine nützliche Orientierung liefert die Dichte von Wasser, die im Mittel $\rho_w = 1,0 \text{ t/m}^3 = 1,0 \text{ g/cm}^3$ beträgt. Für die Berechnung der Kräfte wird die Wichte γ benutzt, die als Quotient von Gewichtskraft und Volumen definiert ist. Sie berechnet sich als Produkt von Dichte ρ und Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ zu $\gamma = \rho g$. Die mittlere Wichte von Wasser ist $\gamma_w = 9,81 \approx 10,0 \text{ kN/m}^3$ und die mittlere Wichte der Erde $\gamma = 54,17 \approx 55,0 \text{ kN/m}^3$.

Tabelle 2.1: Erreichte Endteufen einiger Tiefenbohrungen

Bohrung	Tiefe [m]	Verhältnis zum Erdradius [%]
Kola UdSSR 1970-1994 (Forschungsbohrung)	12262	0,192
Oklahoma USA 1974 (Erdgasbohrung)	9583	0,150
KTB Windischeschenbach BRD 1990-94 (Forschungsbohrung)	9101	0,142
Zistersdorf Österreich 1983 (Erdgasbohrung)	8553	0,134
Mirow 1 DDR 1974 (Erdölbohrung)	8009	0,125

Ungefähr 71 % der $510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ großen Erdoberfläche werden von Ozeanen bedeckt. Das Innere der Erde besteht aus Schalen unterschiedlicher Dichte. Mit der Tiefe nehmen Druck und Temperatur zu. Die geothermische Tiefenstufe ist die Tiefe, in der sich die Erdkruste um 1°C erwärmt. Sie liegt im Mittel bei 33 m. Je nach regionaler Situation können erhebliche Abweichungen von diesem Mittelwert auftreten (z. B. Schwäbische Alb: 11 m, Südafrika: 90 m). Das mit ca. 12 km Endteufe tiefste Bohrloch der Welt befindet sich auf der Halbinsel Kola. Vulkane können Bruchstücke des Erdmantels immerhin aus 80-120 Kilometern Tiefe an die Erdoberfläche fördern. Einige Diamanten enthalten Einschlüsse, die in rund 700 Kilometern Tiefe entstanden sind.

Die Erkenntnisse zum Aufbau des Inneren der Erde resultieren daher nicht aus der direkten Inaugenscheinnahme, sondern aus geophysikalischen Untersuchungsverfahren, z. B. der Auswertung von Erdbe-

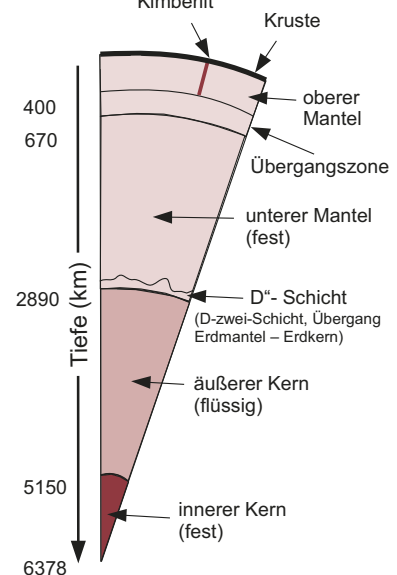
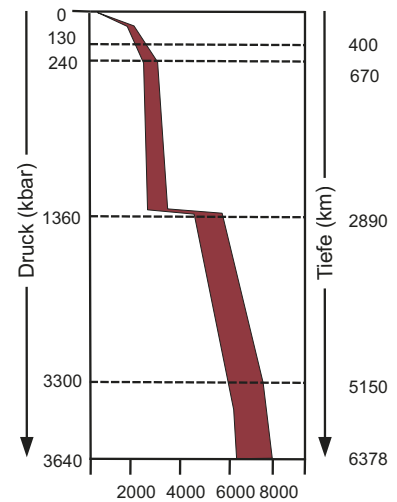


Bild 2.2: Schalenbau, Druck- und Temperaturverlauf im Inneren der Erde

Tabelle 2.2: Einteilung des Erdkörpers in Schalen

Tiefe unter GOF [km]	Bezeichnung der Schicht	Dichte [g/cm ³]	Temperatur [°C]	Geschwindigkeit der p-Wellen [km/s]
10-30	Obere Kruste	2,7	<25-740	5,6-6,3
–	Conrad-Diskontinuität	–	–	–
6-50	Untere Kruste	3,0	–	6,4-7,4
–	Mohorovičić-Diskontinuität	–	–	–
400	Oberer Mantel	3,3	1400	8,0-8,3
900	Übergangszzone	4,6	–	8,2-8,4
2900	Unterer Mantel	5,7	2500	8,0-8,3
–	Wiechert-Gutenberg-Diskontinuität	–	–	–
5100	Äußerer Kern	9,4	2500-3000	8,1-9,4
6370	Innerer Kern	11-13,5	3000-5000	11,3

ben. Von einem Erdbebenherd gehen starke Wellen aus, die horizontal an der Erdoberfläche verlaufen, aber auch quer durch den Erdkörper dringen.

Erde – Mittlere Kennwerte

Radius	≈ 6378,26 km (Äquator)
Volumen	≈ 1,083 · 10 ¹² km ³
Masse	≈ 5,98 · 10 ²¹ t
Dichte ρ	≈ 5,52 g/cm ³

Mittlere Kennziffern der Schalen

Erdkruste	0,4 % der Masse $\rho \approx 2,8$ g/cm ³
Erdmantel	67,2 % der Masse $\rho \approx 4,5$ g/cm ³
Erdkern	32,4 % der Masse $\rho \approx 11,0$ g/cm ³

Durch die zeitliche Erfassung des Auftretens von Wellen an Messstationen lässt sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen berechnen. Diese ist abhängig von der Dichte des durchquerten Materials. Auch andere physikalische Phänomene, z. B. die elektrische Leitfähigkeit oder die Erdanziehung lassen sich für die Untersuchung der Eigenschaften des Untergrunds nutzen. Geophysikalische und bodendynamische Messverfahren zur Untersuchung des Bodens und zur Ermittlung von Kennwerten sind auf dieser Grundlage entwickelt worden (Geoelektrik, Geomagnetik, Gravimetrie, Geoseismik, Georadar, usw.).

Durch die Messung der Wellenausbreitung bei Erdbeben sind mehrere sprunghafte Änderungen der Dichte nachgewiesen worden, die auf den schalenförmigen Aufbau der Erde schließen lassen. Man unterscheidet dabei Longitudinalwellen, auch P-Wellen (Primärwellen) oder Kompressionswellen genannt – und S-Wellen (Schwerwellen). Die P-Welle schwingen in Ausbreitungsrichtung und können sich in festen, flüssigen und gasförmigen Materialien ausbreiten. Dagegen schwingen S-Wellen quer zur Ausbreitungsrichtung (Transversalwelle). Sie können sich nicht in Flüssigkeiten oder Gasen ausbreiten, da diese einer Scherverformung keinen Widerstand entgegenzusetzen.

Die Erdkruste umfasst die Zone von der Erdoberfläche bis zur Mohorovičić-Diskontinuität. Man unterscheidet zwischen kontinentaler Kruste mit 30-60 km Dicke und der ozeanischen Kruste unter den Ozeanen mit einer Dicke von nur 5-7 km. Unter der Erdkruste befindet sich der

obere Erdmantel, der sich bis ca. 400 km Tiefe erstreckt. Die Lithosphäre bezeichnet den Bereich von der Erdkruste einschließlich des oberen Mantels. Der Erdkern gliedert sich in einen flüssigen äußeren Kern und in einen wahrscheinlich festen inneren Kern. Die Abgrenzung zwischen den Schalen wird von Diskontinuitäten gebildet, die durch deutliche Sprünge der Laufzeitkurven der Erdbebenwellen zu erkennen sind. Je härter und schwerer ein Gestein ist, um so höher ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen.

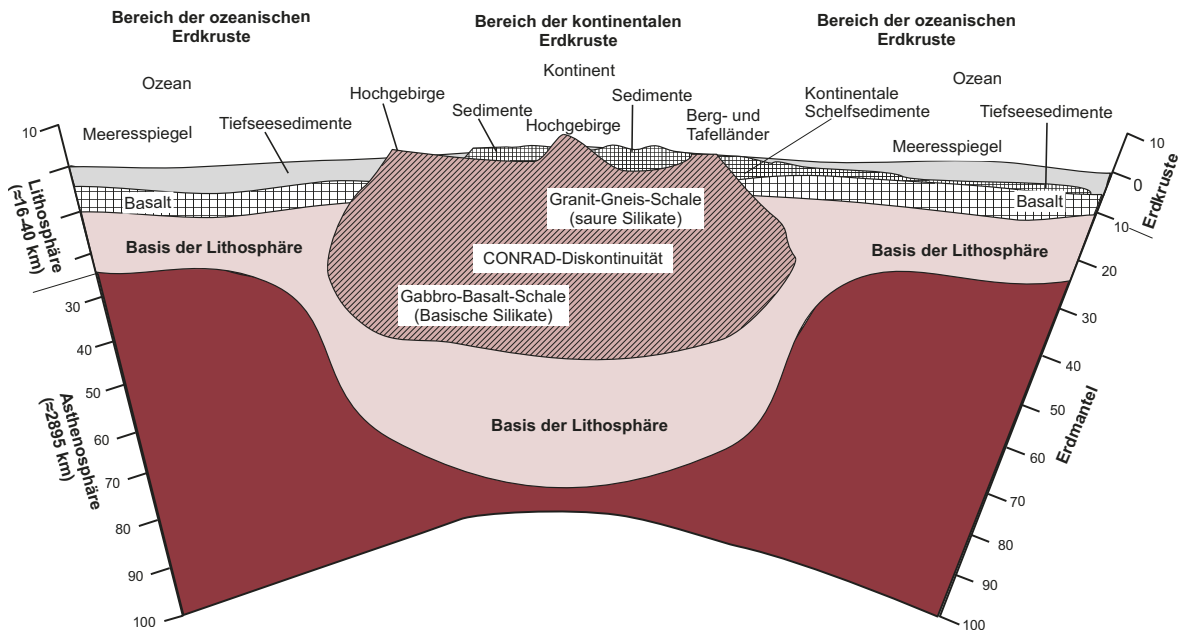


Bild 2.3: Aufbau und Mächtigkeit der Lithosphäre unter den Kontinenten und Ozeanen

2.2.2 Geologische Zeitrechnung

Die geologische Zeitrechnung beginnt mit der Bildung und Erstarrung der Erdkruste vor ca. 4,8 Milliarden Jahren. Ältere Schichten werden normalerweise von jüngeren Schichten überlagert. Durch die Überlagerung wird der Boden zusammengedrückt und verdichtet.

Seine Festigkeit nimmt dadurch zu. Wird ein Bauwerk in jungen, nicht vorbelasteten Schichten gegründet, ist mit größeren Verformungen und geringerer Festigkeit zu rechnen. Umgekehrt lässt sich aus dem Alter und der Entstehung einer Schicht erkennen, ob diese früher einmal von einer anderen Schicht überlagert worden ist. Auf Grundlage der Überle-

Systematik der Zeitangaben

- **Äonen:** sehr langer geologischer Zeitraum > 500 Mio. Jahre (4 Äonen: Phanerozoikum, Proterozoikum, Archaikum, Hadaikum)
- **Ära, Zeitalter:** Erdzeitalter > 100 Mio. Jahre (z. B. Phanerozoikum – Zeitalter: Känozoikum, Mesozoikum, Paläozoikum)

Systematik der Zeitangaben

- **Periode, Formation:** < 100 Mio. Jahre (z. B. Phanerozoikum/Känozoikum – Formation: Quartär, Neogen (früher Tertiär), Paläogen)
- **Epoche, Abteilung:** 10 Mio. Jahre (z. B. Phanerozoikum/Känozoikum/Quartär – Epoche: Holozän, Pleistozän).

Kurzcharakteristik der Zeitalter (Ären)

Känozoikum

(Erdneuzeit: 65 Mio. Jahre bis heute)

	Tertiär, Quartär
Flora	Blütenpflanzen, Nadelhölzer
Fauna	Säugetiere (Raubtiere, Huftiere, Primaten)
Klima	Schwankungen
Entwicklung und Differenzierung der Menschheit	

Mesozoikum

(Erdmittelalter: 251 bis 65 Mio. Jahre)

	Trias, Jura, Kreide
Fauna	Reptilien, Riesensaurier, Säugetiere

Paläozoikum

(Erdaltertum: 542 bis 251 Mio. Jahre)

	Kambrium, Ordovizium, Silur, Devon, Karbon, Perm
Flora	üppiger Pflanzenwuchs
Fauna	Reptilien (Saurier)

Präkambrium

(Erdur- und Erdfrühzeit: 3800-542 Mio. Jahre)

	Entstehung der Erde abgeschlossen
Flora	Beginn Photosynthese, Algen, Bakterien
Fauna	niedere Wirbellose

gung, dass ältere Schichten immer von jüngeren überlagert werden, erfolgt in der Geologie die Bestimmung des relativen Alters (Lagerungsgesetz von Steno). Die Bestimmung des relativen Alters beruht auf der Verwendung von Zeitmarken, z. B. Gebirgsbildungen oder Leitfossilien. Die Lebewesen haben sich immer einsinnig gerichtet verändert. Der biologische Entwicklungsprozess ist nicht umkehrbar oder wiederholbar. Auf dieser Grundlage kann das relative Alter von Gesteinsschichten durch Fossilien bestimmt werden. Leitfossilien sind Lebensformen, die nur eine kurze Zeit existierten und weit verbreitet waren. Auch petrologische (gesteinskundliche) Merkmale, z. B. Aschen-Lagen aus großen Vulkanausbrüchen, können zur relativen Altersbestimmung benutzt werden.

Die Methoden zur Bestimmung des absoluten Alters von Schichten beruhen auf naturwissenschaftlichen Überlegungen. Zur Altersbestimmung kann die jahreszeitliche Abfolge der Ablagerungsprozesse, ähnlich den Jahresringen von Bäumen, genutzt werden, z. B. bei Bändertonen, bei denen sich helle, sandige Sommerlagen mit dunklen, tonigen Winterlagen abwechseln. Die radiometrische Altersbestimmung gehört zu den physikalischen Verfahren. Das Alter wird aufgrund der Beobachtung des Zerfalls radioaktiver Elemente ermittelt.

Im 19. und 20. Jahrhundert ist eine geologische Zeitskala entwickelt worden, deren Abschnitte sich auf die Abfolge von Gesteinen und Fossilien beziehen. Die Unterteilung der Zeitskala erfolgt nach Äonen, Zeitalter, Formationen und Epochen (siehe *Tabelle 2.4*). Eine Datierung ist nur als Größenordnung sinnvoll, wobei in größeren Abständen Anpassungen der Zuordnung von Begriffen zu Zeitspannen vorgenommen worden sind. So ist der Begriff „Tertiär“ im Jahr 2000 aus der international gültigen und von der Internationalen Kommission für Stratigraphie herausgegebenen Geologischen Zeitskala gestrichen worden. Bei der Beurteilung des Baugrunds mithilfe historischer Unterlagen ist er nach wie vor gebräuchlich und wird deshalb hier ebenfalls noch benutzt.

Es ist üblich, für die erste Charakterisierung der Baugrundsichtung, die geologischen Bezeichnungen zu nutzen. Die Bestimmung des Zeitalters einer Schicht erfolgt auf Grundlage geologischer Überlegungen. Bei schwierigen Verhältnissen sollte ein Fachmann (Geologe) hinzugezogen werden. Für die Planung von Baumaßnahmen kann die richtige Interpretation dieser Informationen sehr nützlich sein.

Die Eiszeiten sind wichtige erdgeschichtliche Ereignisse der jüngeren Erdgeschichte. Sie haben das Landschaftsbild und die Ablagerungsbedingungen in einigen Regionen wesentlich geprägt. Während des Pleistozäns kam es zu einer großflächigen Vergletscherung von Nordeuropa, wobei das Eis unterschiedlich weit von Norden nach Süden vordrang. Gleichzeitig erfolgte eine Vergletscherung von den Alpen her nach Norden. Mittel- und Süddeutschland blieben eisfrei. Hier lagerten sich periglaziale Sedimente ab. Das letzte Rückzugsstadium der Verei-

sung begann ca. 15.000 bis 8.000 Jahre vor der Zeitrechnung. Seit dem hebt sich der skandinavische Schild unter der Entlastung kontinuierlich heraus. Die von den Gletschern transportierten Verwitterungsprodukte wurden ungeordnet in Moränen oder durch das Schmelzwasser sortiert abgelagert. Eiszeitliche Sedimente sind Lockergesteine wie Kiese, Sande, Geschiebemergel und Geschiebelehme.

Tabelle 2.3: Übersicht zur Zeitskala der Erdgeschichte

Beginn [Mio. a]	Ära/Zeitalter	Periode	Epoche	Ereignisse
0,0118	Känozoikum (Neozoikum, Erdneuzeit)	Quartär (Jungzeit)	Holozän	Moderner Mensch (Homo sapiens)
1,8			Pleistozän	Neandertaler, Homo erectus
5,3		Tertiär (Neuzeit)	Pliozän	Vormenschen (z.B. Australopithecus)
23,03			Miozän	Primaten (z.B. Pliopithecus)
33,9			Oligozän	Huftiere (z.B. Protoceras)
55,8			Eozän	Urhufer (z.B. Uintatherium)
65,5			Paläozän	Aussterben der Dinosaurier
144,5	Mesozoikum	Kreide		erste Blütenpflanzen (Angiospermen)
199,6	Mittelzeit	Jura		Dinosaurier, erste Vögel (z.B. Archaeopteryx)
251,1		Trias		erste Dinosaurier und Säugetiere
299		Perm		Reptilien (z.B. Dimetrodon), Insektenordnungen
359,2	Altzeit	Karbon		Amphibien, erste Reptilien (z.B. Edaphosaurus)
416		Devon		Fische, erste Amphibien und Bäume
443,7		Silur		kieferlose Wirbeltiere; erste Landpflanzen
488,3		Ordovizium		erste Wirbeltiere, marine Algen
542		Kambrium		erste Tiere mit Hartteilen
1500		Präkambrium	Proterozoikum	
3800	(Urzeit)	Archaikum		Sauerstoff, älteste Mikroorganismen
4570	Hadaikum			Formation des Planeten Erde

Die in der *Tabelle 2.3* dargestellten Zeitangaben basieren auf den Angaben der Internationalen Stratigraphischen Kommission ICS (<http://www.stratigraphy.org/>). Obwohl die Bezeichnungen „Tertiär“ und „Quartär“ abgeschafft und durch „Paläogen“ bzw. „Neogen“ ersetzt worden sind, werden sie hier benutzt, weil viele geologische Informationsquellen diese Begriffe enthalten.

Index

- Abstandsgeschwindigkeit, 116
- Abteilung, 24
- Adsorptionswasser, 30
- äolisch, 42
- Äonen, 23
- Ära, 23
- Anfangsstandsicherheit, 124
- Aquiclude, 29
- Aquifer
 - artesischer , 28
 - gespannter , 28
 - leckender, 29
 - schwebender, 29
 - ungespannter , 28
- Aquifuge, 29
- Aräometer, 95
- Arbeitslinie, hyperbolischer Ansatz, 131
- Arsenate, 35
- Aufschlusstiefe, 75
- Ausrollgrenze, 98
- Böden
 - Entstehung, 63
 - Korngrößen, 62
 - organischer Anteil, 63
- Böschungsbruch
 - ebene Gleitflächen, 212
 - Kreisgleitfläche, lamellenfrei, 214
 - Lamellenverfahren Kreisgleitfläche, 214
 - Lamellenverfahren, beliebige Gleitflächen, 215
 - Starrkörperverfahren, 218
- Ballongerät, 91
- Barotropie, 125
- Baugrunderkundung, 72
 - Art und Umfang, 74
 - Aufschlussarten, 78
- Bettungsmodul
 - aus Plattendruckversuch, 144
 - Fundamentbemessung, 239
- Boden/Bodeneigenschaften
 - Klassifikation
 - Merkmale in Verdingungsnormen, 147
- Bodengruppen, Klassifizierung, 103
- Bodenklassen, 145
- Bodenmechanik, 15
- Bohrkernindex, 56
- Bohrpunktkarte, 71
- Borate, 35
- Carbonate, 35
- Chromate, 35
- Culmannverfahren, Erddruck, 178
- Densitometer, 91
- Deviator, 112
- Dichte, 91
- dichteste Lagerung, 102
- Dilatanz, 125
- Direktscherversuch, 128
- Druckfestigkeit
 - einaxiale des Bodens, 129
 - einaxiale Fels, 52
 - Fels, mittlere Werte, 49
- Drucksondierung, 84
- Durchlässigkeit, 116
 - Korrelation bindiger Boden, 156
 - Korrelation nichtbindiger Bode, 151
- Durchlässigkeit, horizontal, 116
- Durchlässigkeitsversuch
 - Feldbestimmung, 121
 - konstante Druckhöhe, 119
 - veränderliche Druckhöhe, 120
- Edukt, 45
- Elemente, 33
- Endstandsicherheit, 124
- Entnahmekategorie, 82
- Epoche, 24
- Erddruck
 - Definition, 169
 - Gleitflächenbetrachtung, 172
 - Mobilisierung, 194
 - Neigung, 170

- Rankinescher Sonderfall, 177
- Spannungsbetrachtung, 176
- Verdichtungserddruck, 197
- Erddruck, aktiv
 - analytische Ermittlung, 179
 - Berechnungsablauf analytisch, 183
 - grafische Ermittlung, 178
- Erddruck, passiv
 - kinematische Lösung, 187
 - statische Lösung, 187
- Erddruckbeiwert, 176
- Erdradius, 21
- Erdruckbeiwerte
 - aktiv infolge Eigengewicht, 185
 - aktiv infolge Kohäsion, 186
 - passiv infolge Auflast, 192
 - passiv infolge Eigengewicht, 190
 - passiv infolge Kohäsion, 191
- Erdruhedruck, 193
 - vorbelastete Böden, 194
- Erkundungstiefe, 75
- Erkundungsverfahren, 78
- Ersatzverfahren, 91

- Fallkegel, 100
- FDVK, 106
- Fels
 - Verwitterungsstufen, 54
- Felsmechanik, 15
- Filtergeschwindigkeit, 116
- Filterkriterium, 163
- Filterregel, 163
- Fläche, wirksame, 204
- Flächenbruch, 169
- Flügelsondierung, 84
- Fließgrenze, 98
- Fluidaltexur, 41
- fluviatil, 42, 63
- Formation, 24
- freier GWL, 29
- Frostempfindlichkeit, 146

- Güteklassen (Bodenproben), 82
- Gauß-Krüger-Koordinaten, 70
- Gebirgsklassifikation, 56
- Gefälle, hydraulisches, 111

- geotechnische Kategorie, 73
- Gesamtscherfestigkeit, 127
- Glühverlust, 94
- glazial, 42, 63
- Gradient, hydraulischer, 111
- Grenztiefe, 234
- Grundbruch
 - Durchstanzen, 208
 - Geländeneigung, 206
 - Grundbruchgleichung, 203
 - Lastneigung, 206
 - Sohlneigung, 207
- Grundwasser, 30
- Grundwasserflurabstand, 29
- Grundwasserleiter, 28
- Grundwasserstockwerk, 29
- GSI Geological Strength Index, 59

- Haftwasser, 30
- Halogenide, 34
- Hauptspannungsverhältnis
 - kritisches, 166
- Hauptuntersuchung, 74
- Hochwert, 70
- Hungerquelle, 32
- Hydroxide, 35

- Kalkgehalt, 93
- Kapillarwasser, 30
- Karten, geologische, 71
- Kategorie der Entnahme, 82
- Kennwerte, mittlere, 149
- kennzeichnender Punkt, 225
- Klassifizierung, 103
- Kleinrammbohrung, 79
- Kluft-GWL, 29
- Kluffflächen, 54
- Kluftraugigkeitszahl, 57
- Kluftsysteime, 57
- Kluftveränderungszahl, 57
- Kohäsion
 - Definition, 123
- Kohäsion, undränierete
 - Konsistenz, 152
 - Korrelation, 153
- Kompressionsbeiwert C_c , 137

- Kompressionsversuch
 - eindimensionaler, 142
 - triaxialer, 130
- Konsistenz, 152
- Konsistenzgrenzen, 98
- Konsolidation, 137
- Konsolidationsbeiwert c_v , 138
- Konsolidationssetzung, 139
- Korndichte, 93
- Korngrößenverteilung, 95
- Krümmungszahl C_c , 95
- Kreisringscherversuch, 128
- Kriechbeiwert
 - Korrelation, 156
- Kriechsetzung, 139
- kritischer Zustand, 124

- Lösbarkeit, 145
- Laborflügelsonde, 100
- Lagerungsdichte, 102
- Lamellenverfahren
 - beliebige Gleitflächen, 215
 - Kreisgleitfläche, 214
- limnisch, 42
- lockerste Lagerung, 102
- Longitudinalwelle, 22

- Magma, 41
- marin, 42
- Metamorphite, 44
- Metamorphose, 44
- Mineralklassen
 - Borate, 35
 - Carbonate, 35
 - Elemente, 33
 - Halogenide, 34
 - Hydroxide, 35
 - Nitrate, 35
 - Organische Verbindungen, 35
 - Oxide, 35
 - Phosphate, 35
 - Silikate, 35
 - Sulfate, 35
 - Sulfide, 34
- Molybdate, 35
- Mudde, 64

- Nitrate, 35

- Ödometerversuch, 142
- Organische Verbindungen, 35
- organischer Boden, 63
- Oxide, 35

- p-Welle, 22
- palustrin, 42, 63
- Pastizitätszahl, 98
- Periode, 24
- Phasenzusammensetzung, 87
- Phosphate, 35
- Plattendruckversuch, 143
- Poren-GWL, 29
- Porenanteil n_f , durchflusswirksamer, 117
- porphyrisch, 41
- Primärsetzung, 139
- Probenahme, 79
- Proctordichte
 - Erfahrungswerte, 158
- Proctorversuch, 105
- Pykonotropie, 125
- Pyroklastite, 42

- Q-System, 56
- Quality-System, 56
- Quellen, 231

- Rückstandsböden, 63
- Rahmenscherversuch, 128
- Rammkernsondierung, 79
- Rammsondierung, 83
- Rankinescher Sonderfall, 177
- Rechtswert, 70
- Referenzparameter, 134
- Reibungswinkel
 - Definition, 123
 - Fels, mittlere Werte, 49
 - Korrelation bindiger Boden, 153
 - Korrelation nichtbindiger Boden, 150
 - spannungsabhängiger, 125
 - spannungsabhängiger, Näherung, 151
- Rekompressionsbeiwert C_{cr} , 137
- Restscherfestigkeit, 125
- Restscherfestigkeit
 - Korrelationen, 153

- RQD-Wert, 56
- Sackung, 231
- Sackungsmaß, 231
- Scherfestigkeit
 - Bruchkriterium, 123
 - dichteabhängige, 125
 - druckabhängige, 125
 - Erfahrungswerte, 126
 - Gesamtscherfestigkeit, 127
 - Mobilisierung, 124
 - Mobilisierungsfunktion, 131
 - undrÄnierte Bruchbedingung, 124
- Schergeschwindigkeit, 127
- SchichtflÄchen, 54
- Schichtquelle, 32
- SchieferungsflÄchen, 54
- schlaffes Fundament, 225
- Schrumpfgrenze, 98
- Schrumpfung, 231
- Schuttquelle, 32
- Schwellbeiwert C_s , 137
- Schwellhebung, 231
- SekundÄrsetzung, 139
- Selbstfiltrationsindex, 163
- Senkung, 231
- Setzungsberechnung
 - Korrekturbeiwerte κ , 233
 - Setzungseinflusswerte, 237
 - Verdrehung, 236
- Sickerwasser, 30
- Silikate, 35
- Silodruck, 198
- Sofortsetzung, 139
- Sohlspannungsverteilung, 224
- Sondierung
 - Drucksondierung, 84
 - Rammsondierung, 83
- Spaltenquellen, 32
- Spannungen, 112
 - Deviator, 112
 - wirksame, 113
- Spannungseinflusswert, 224
- Spannungseinflusswerte
 - schlaffes Rechteckfundament, 231
 - starres Rechteckfundament, 231
- Spannungsreduktionsfaktor SRF , 57
- Stützmittelzahl, Äquivalente, 58
- Stand sicherheitszahl, 219
- starres Fundament, 225
- StarrkÖrperverfahren, 218
- Steifemodul
 - Definition, 134
 - Idealisierung, 156
 - Korrelationen, 156
 - Steifemodulparameter v, w , 136
- Strömungskraft, 159
 - Böschungen, 211
 - Herleitung, 159
- Strömungsnetz, 159
- Sulfate, 35
- Sulfide, 34
- Tagesbruch, 231
- Taschenpenetrometer, 100
- Taylor-Diagramm, 219
- Tiefenstufe, geothermische, 21
- Torf, 64
- TrennflÄchengefüge, 54
- Triaxialversuch
 - Arbeitslinie, 131
 - Versuchsaufbau, 129
- Überlaufquelle, 32
- Ungleichförmigkeitszahl C_u , 95
- UTM, 70
- Vanadate, 35
- VerÄnderlichkeit Fels, 54
- Verdichtungserddruck, 197
- Verdichtungskontrolle, 106
 - Anforderungen, 106
 - Eignungsprüfung, 107
 - Prüfmethoden, 106
 - Prüfumfang, 108
- Verfestigungsgrad μ , 139
- Verformungsmodul, initialer E_i , 132
- Verwitterungsgrad, 54
- Vorbelastung, Spannung, 135
- Voruntersuchung, 74
- Vulkanite, 41
- Wandreibungswinkel, 170

- Wassergehalt, 91
Webanwendungen
 Geologische Informationen, 71
Windablagerungen, 63
wirksame Fläche, 204
Wolframate, 35
- Zähigkeitsindex, 128
Zugfestigkeit, Fels, 49
Zusammendrückbarkeit, 132