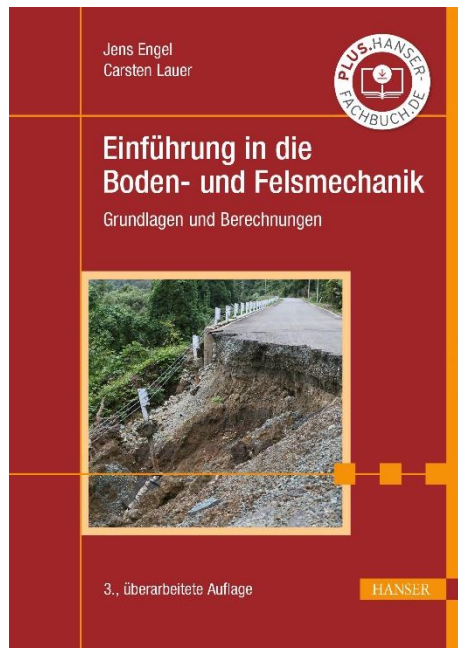


# HANSER



## Leseprobe

zu

## Einführung in die Boden- und Felsmechanik

von Jens Engel und Carsten Lauer

Print-ISBN: 978-3-446-46941-9

E-Book-ISBN: 978-3-446-47444-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446469419>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# 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:

*<https://plus.hanser-fachbuch.de>*

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, September 2022  
Jens Engel, Carsten Lauer



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung: Aufgaben und Ziele der Bodenmechanik</b> .....	<b>13</b>
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 .....	17
<b>2</b>	<b>Geologische Grundlagen</b> .....	<b>21</b>
2.1	Nutzen geologischer Informationen für Bauprojekte.....	21
2.2	Allgemeine geologische Grundlagen .....	23
	2.2.1 Aufbau der Erde im Überblick.....	23
	2.2.2 Geologische Zeitrechnung .....	25
2.3	Minerale.....	30
	2.3.1 Systematik der Minerale.....	31
	2.3.2 Mineralbestimmung auf Grundlage physikalischer Eigenschaften .....	33
	2.3.3 Gesteinsbildende Minerale .....	37
2.4	Gesteine .....	39
	2.4.1 Kreislauf der Gesteine .....	39
	2.4.2 Gesteinsarten – Überblick .....	40
	2.4.2.1 Magmatische Gesteine .....	40
	2.4.2.2 Sedimentgesteine .....	42
	2.4.2.3 Metamorphite .....	45
2.5	Hydrogeologische Grundlagen .....	47
	2.5.1 Kreislauf des Wassers, Bilanzgleichung .....	47
	2.5.2 Wasser im Untergrund.....	48
	2.5.3 Grundwasserleiter .....	50
	2.5.4 Quellen .....	51

<b>3</b>	<b>Baugrund (Gebirge)</b> .....	<b>53</b>
3.1	Gestein-Fels-Gebirge .....	53
3.1.1	Gestein .....	54
3.1.1.1	Bestimmung der Gesteinsart .....	55
3.1.1.2	Eigenschaften der Gesteine .....	60
3.1.2	Trennflächengefüge .....	63
3.1.3	Gebirgsklassifizierungen .....	65
3.1.3.1	Q-System (Quality-System) .....	65
3.1.3.2	Geological Strength Index GSI, Gebirgskennwerte .....	70
3.2	Böden (Lockergesteine) .....	70
3.2.1	Unterscheidungskriterien .....	70
3.2.2	Benennung und Beschreibung .....	72
<b>4</b>	<b>Erkundung in situ</b> .....	<b>77</b>
4.1	Vorbereitung, Planung .....	77
4.1.1	Grundlagen – Aufgabenstellung .....	78
4.1.2	Planungshinweise, Informationsquellen .....	80
4.1.3	Geologische Karten .....	81
4.2	Baugrunderkundung .....	84
4.2.1	Geotechnische Kategorien .....	84
4.2.2	Umfang der Erkundung .....	86
4.2.3	Erkundungsarten .....	89
4.2.3.1	Direkte Aufschlüsse, Probenahme .....	90
4.2.3.2	Indirekte Verfahren: Sondierungen .....	96
<b>5</b>	<b>Kennwerte von Boden und Fels</b> .....	<b>101</b>
5.1	Klassifikationskennwerte .....	101
5.1.1	Stoffbestand .....	101
5.1.1.1	Phasenzusammensetzung .....	101
5.1.1.2	Beimengungen .....	109
5.1.1.3	Korngrößenverteilung .....	110
5.1.2	Stoffzustand: Grenzwerte des Stoffbestands .....	114
5.1.2.1	Konsistenzgrenzen bindiger Böden .....	115
5.1.2.2	Grenzen der Lagerungsdichte .....	120
5.1.3	Klassifizierung – Bodengruppen nach DIN 18196 .....	121
5.2	Gütekontrolle im Erdbau, Verdichtung .....	124
5.2.1	Proctorkennwerte .....	124
5.2.2	Verdichtungskontrolle .....	126

5.3	Mechanische und hydraulische Größen .....	129
5.3.1	Strömung .....	129
5.3.2	Spannungen und Kräfte .....	130
5.3.2.1	MOHRscher Kreis .....	130
5.3.2.2	Wirksame Spannung .....	132
5.3.2.3	Eigengewicht des Bodens .....	133
5.3.3	Verformungsmaße .....	134
5.4	Durchlässigkeit .....	136
5.4.1	Grundlagen .....	136
5.4.2	Experimentelle Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts .....	137
5.5	Scherfestigkeit .....	142
5.5.1	Grundlagen .....	142
5.5.1.1	Bruchbedingung .....	142
5.5.1.2	Einflüsse auf $\varphi$ und $c$ .....	147
5.5.2	Experimentelle Ermittlung .....	149
5.5.2.1	Direktscherversuch .....	150
5.5.2.2	Einaxiale Druckfestigkeit .....	151
5.5.2.3	Triaxialversuch .....	151
5.6	Zusammendrückbarkeit .....	155
5.6.1	Grundlagen .....	155
5.6.2	Druck-Setzungs-Linie: Kennwertansätze .....	156
5.6.3	Zeit-Zusammendrückungs-Verhalten .....	163
5.6.4	Experimentelle Bestimmung – Ödometerversuch .....	167
5.6.5	Plattendruckversuch .....	169
5.7	Klassifizierungskriterien .....	171
5.7.1	Homogenbereiche zur Leistungsbeschreibung .....	171
5.7.2	Frostempfindlichkeit .....	174
5.8	Mittlere Kennwerte, Korrelationen .....	175
5.8.1	Näherungen für nichtbindige Böden .....	175
5.8.2	Bindige Böden .....	177
<b>6</b>	<b>Strömung und Transport .....</b>	<b>189</b>
6.1	Strömungskraft .....	189
6.2	Beschreibung von Strömungsfeldern .....	190
6.3	Filterstabilität .....	194

<b>7</b>	<b>Tragfähigkeit</b>	<b>197</b>
7.1	Grundlagen	197
7.1.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit in der Boden- und Felsmechanik	197
7.1.2	Idealisierung von Phänomenen	197
7.1.3	Kritisches Hauptspannungsverhältnis – Grenzzustände	198
7.2	Erddruck	200
7.2.1	Einführung	200
7.2.1.1	Arten des Erddrucks	200
7.2.1.2	Erddruckneigung	202
7.2.2	Grundlagen der Berechnung	205
7.2.2.1	Verfahren mit Gleitflächen	205
7.2.2.2	Untersuchung des Spannungszustands	209
7.2.3	Aktiver Erddruck	211
7.2.3.1	Grafische Verfahren	211
7.2.3.2	Analytische Berechnung – Erddruckbeiwerte	213
7.2.4	Passiver Erddruck	219
7.2.4.1	Grundlagen der Berechnung	219
7.2.4.2	Erddruckbeiwerte, ebener Fall	222
7.2.4.3	Räumlicher passiver Erddruck	222
7.2.5	Erdruhedruck	223
7.2.5.1	Grundlagen	223
7.2.5.2	Erddruckbeiwert $K_{0gh}$	226
7.2.5.3	Vorbelastete Böden, Kohäsion	227
7.2.6	Zwischenwerte, Sonderfälle des Erddrucks	227
7.2.6.1	Mobilisierung des passiven Erddrucks	227
7.2.6.2	Verdichtungserddruck	229
7.2.6.3	Sonderfall – Silodruck (begrenzte Hinterfüllung)	230
7.3	Grundbruch	231
7.3.1	Einführung	231
7.3.2	Ein einfacher Lösungsansatz	232
7.3.3	Allgemeiner Berechnungsansatz	234
7.3.3.1	Anforderungen	234
7.3.3.2	Tragfähigkeitsbeiwerte, Grundbruchfigur	235
7.3.3.3	Nachweisführung	236

7.4	Standsicherheit von Böschungen, Geländebruch .....	243
7.4.1	Grundlagen .....	243
7.4.2	Berechnungsgrundlagen bei Gleittrutschungen .....	244
7.4.2.1	Ebene Gleitfläche .....	244
7.4.2.2	Kreisförmige Gleitfläche .....	247
7.4.2.3	Lamellenfreie Kreisgleitfläche mit $c' > 0$ und $\varphi' > 0$ .....	248
7.4.2.4	Beliebige Gleitflächen .....	251
7.4.3	Berechnungsverfahren (Auswahl) .....	251
7.4.3.1	Lamellenverfahren mit Kreisgleitflächen .....	252
7.4.3.2	Starrkörperverfahren .....	253
7.4.3.3	Bemessungshilfen für einfache Fälle .....	254
<b>8</b>	<b>Berechnung von Setzungen .....</b>	<b>257</b>
8.1	Spannungsausbreitung im Baugrund .....	257
8.1.1	Grundlagen .....	257
8.1.2	Elementare Lösungen .....	258
8.1.3	Berechnung der Spannungsverteilung .....	262
8.2	Prognose von vertikalen Verformungen .....	267
8.2.1	Einführung .....	267
8.2.1.1	Begriffe, Definitionen .....	267
8.2.1.2	Sackungen .....	268
8.2.2	Rechnerische Ermittlung der Setzung .....	268
8.2.3	Ermittlung der Setzungen auf Grundlage einer Druck-Setzungs-Kurve..	271
8.2.4	Berechnung der Setzung und Schiefstellung starrer Fundamente .....	274
8.3	Bestimmung des Bettungsmoduls .....	276
	<b>Literatur .....</b>	<b>281</b>
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>287</b>





# 1

## Einführung: Aufgaben und Ziele der Bodenmechanik

### ■ 1.1 Entwurf eines Bauwerks – Rolle der Geotechnik im Bauingenieurwesen

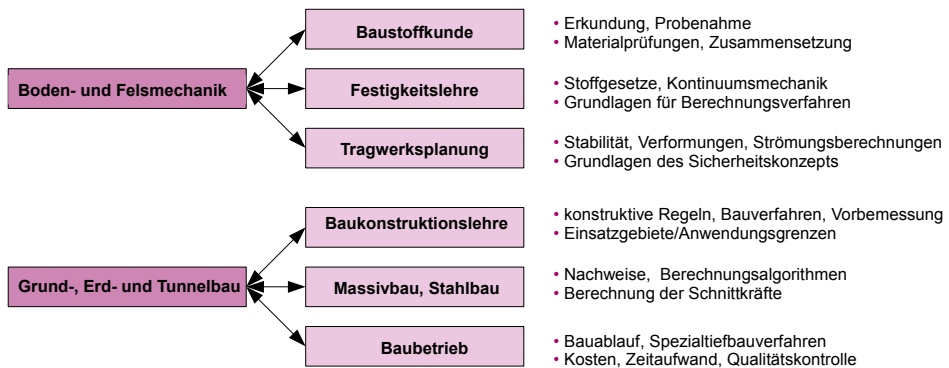


**Bild 1.1** Risse an einem Wohngebäude infolge von Untergrundverformungen

Bauwerke sicher und wirtschaftlich zu errichten und dafür zu sorgen, dass die Anforderungen der Nutzung erfüllt werden, ist die Aufgabe des Bauingenieurs. Das Versagen der Konstruktion bzw. von Teilen des Bauwerks muss ausgeschlossen werden. Ebenso dürfen keine Zustände eintreten, die die Funktion beeinträchtigen, z. B. durch Schiefstellung oder Risse. Schäden infolge von nachgebendem Baugrund sind ebenfalls bei der Planung zu berücksichtigen. Jedes Bauwerk benötigt ein Fundament bzw. eine Gründung zur Abtragung der Lasten in den Untergrund. Bei ausreichend tragfähigem Untergrund unmittelbar unter dem Bauwerk ist beispielsweise die Herstellung von Einzel- oder Streifenfundamenten denkbar. Diese sind rechnerisch nachzuweisen, um dadurch Versagensfälle, wie in [Bild 7.2](#) dargestellt, auszuschließen. Zustände, die zum Einsturz eines Bauteils führen können, werden als Grenzzustand der Tragfähigkeit bezeichnet – kurz Tragfähigkeit.

Bauwerke können auch dauerhafte Geländeeinschnitte oder Dämme sein und oft ist als Teil der Baumaßnahmen die vorübergehende Errichtung von Baugruben erforderlich. Für diese Teile des Bauwerks sind die gleichen Überlegungen anzustellen, wie für alle anderen Teile der Konstruktion, z. B. Wände, Pfeiler, Stützen oder Dachtragwerke.

Fels oder Boden kann als Untergrund Teil des Bauwerks sein, kann aber auch als Baumaterial für die Errichtung von Dämmen und anderen Erdbauwerken genutzt werden. In beiden Fällen muss es bezüglich der Materialeigenschaften genauso behandelt werden wie Beton, Stahl, Plaste oder Holz. Auch die rechnerische Bewertung der Standsicherheit und der zukünftigen Nutzung müssen in gleicher Weise wie bei der aufgehenden Konstruktion erfolgen. Die dafür erforderlichen Grundlagen werden u. a. in der Boden- und Felsmechanik und im Erd-, Grund- und Dammbau behandelt. Es hat sich eingebürgert, dafür den Oberbegriff Geotechnik zu benutzen. In *Bild 1.2* sind die einzelnen Fachgebiete und die Inhalte schematisch dargestellt.

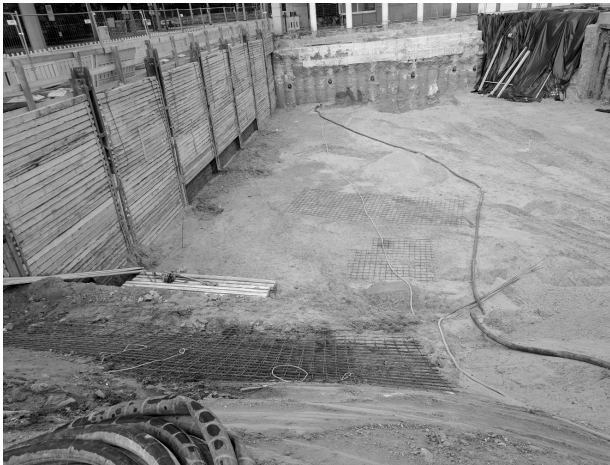


**Bild 1.2** Teilgebiete der Geotechnik, Einordnung innerhalb des Bauingenieurwesens

Geotechnische Grundlagen werden in jeder Phase der Planung und Errichtung eines Bauwerks benötigt und sind in den unterschiedlichsten Fachgebieten, z. B. dem Massivbau, der Baukonstruktionslehre, dem Verkehrsbau, dem Baubetriebswesen oder dem Wasserbau zu berücksichtigen. Die einzelnen Fächer der Geotechnik gemäß *Bild 1.2* sind daher keine eigenständigen Fachgebiete, sondern Dienstleister für viele Bereiche des Bauingenieurwesens.

Ausgangspunkt für den Entwurf eines Bauwerks sind zunächst die Anforderungen, die der Bauherr stellt. Auf dieser Grundlage muss aus dem Spektrum möglicher konstruktiver Lösungen die optimale Variante ausgewählt, schrittweise durchgeplant und schließlich praktisch umgesetzt werden. Dies ist die Aufgabe von Bauingenieuren. Dazu sind sehr unterschiedliche Probleme zu bearbeiten.

- **Auswahl der optimalen konstruktiven Lösung:** Diese soll alle Anforderungen an die Funktionalität erfüllen, wirtschaftlich und wartungsfreundlich sein und die ästhetischen Anforderungen erfüllen. Dies setzt bei den planenden Ingenieuren umfassende Kenntnisse zu den Konstruktionsarten und den Vor- und Nachteilen der einzelnen Varianten voraus.
- **Rechnerische Nachweise:** Im Unterschied zu den Anfängen der Bautätigkeit, die durch das Prinzip „Versuch und Irrtum“ gekennzeichnet waren, werden Bauwerke nicht mehr



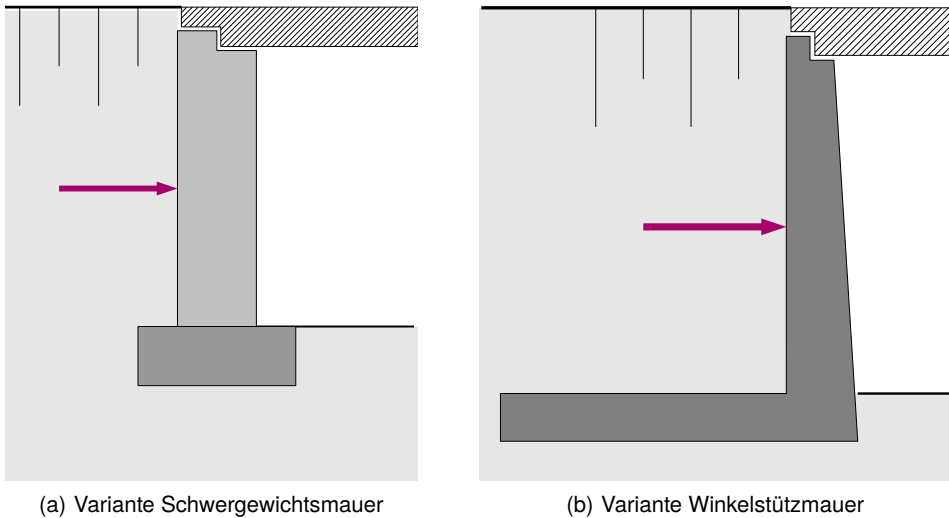
**Bild 1.3** Baugrube mit Trägerbohlwand und Bohrpfählen

ausschließlich auf Grundlage von Erfahrungen errichtet, sondern vor Baubeginn werden sie konstruktiv und rechnerisch durchgeplant. Dies umfasst Nachweise der Standsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und Nachweise zu speziellen Nutzungsanforderungen, z. B. den Wärme- oder Schallschutz. Die Nachweise basieren auf naturwissenschaftlichen Grundlagen und ingenieurtechnischen Überlegungen.

- **Überwachung der Materialeigenschaften:** Die bautechnischen Eigenschaften der eingesetzten Baumaterialien sollen optimal ausgenutzt werden. Aus den Berechnungen ergeben sich Anforderungen an die Festigkeit, das Gewicht und die Verformbarkeit des Baustoffs. Durch Materialprüfungen müssen diese Anforderungen nachgewiesen werden. Kenntnisse über die Kennwerte, die Prüfverfahren und die generelle Eignung von Baumaterialien sind dafür Grundvoraussetzung.
- **Errichtung des Bauwerks:** Sowohl die Planung als auch die eigentliche Errichtung von Bauwerken erfordern die Zusammenarbeit unterschiedlicher Gewerke oder Fachplaner. Die Koordinierung setzt ingenieurtechnisches und baubetriebliches Wissen voraus.

## ■ 1.2 Boden- und Felsmechanik als Teil des Bauingenieurwesens

Die Bodenmechanik behandelt die Grundlagen der Berechnung der Reaktion des Bodens auf Einwirkungen durch Bauwerke, durch die Bautätigkeit selbst oder durch Beanspruchungen aus Verkehrs- und Wasserlasten. Tritt Boden oder Fels als Baugrund auf, müssen dessen Eigenschaften festgestellt und zahlenmäßig erfasst werden. Wird dagegen Boden oder Fels als Baumaterial eingesetzt, lassen sich die Eigenschaften durch Einbau und Verdichtung gezielt beeinflussen. Während im ersten Fall die Bemessung des Bauwerks, d. h. die Festlegung der Abmessungen auf Grundlage der Bodeneigenschaften erfolgt, werden im zweiten Fall Anforderungen durch Zahlenwerte vorgegeben, deren Einhaltung im Zuge der Errichtung des



**Bild 1.4** Varianten eines Brückenwiderlagers mit Flachgründung

Bauwerks kontrolliert werden muss. Boden oder Fels ist dann ein Baumaterial im üblichen Sinn.

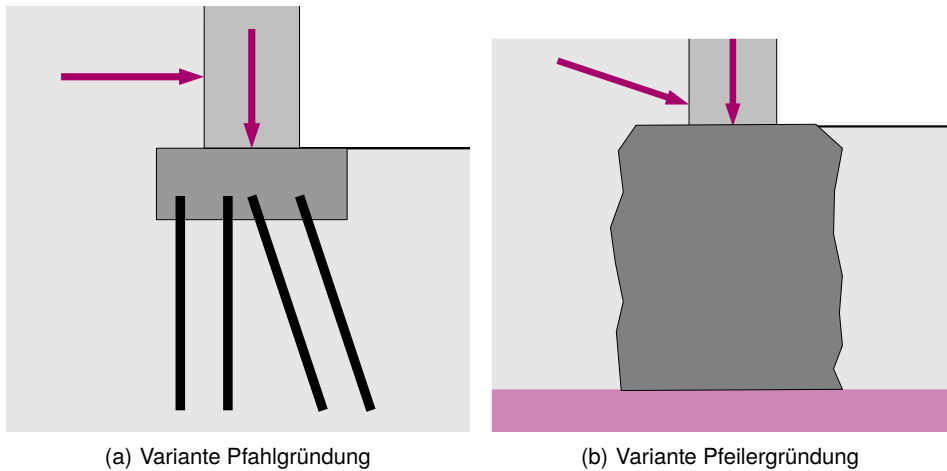
Die Leistungen, die ein Bauingenieur zu erbringen hat, sind z. B. in der HOAI [74] ausführlich beschrieben. Zu den ersten Leistungsphasen gehört die Grundlagenermittlung. Darunter fallen Informationen, die bereits in einem frühen Planungsstadium Einfluss auf den Entwurf des Bauwerks haben. Die Beschaffenheit des Baugrunds und die Grundwasserverhältnisse gehören zu diesen grundlegenden Informationen. Wie man zu diesen Informationen kommt, wird in diesem Buch behandelt. Da der Untergrund auch im Ergebnis erdgeschichtlicher Prozesse entstanden ist, sind die geologischen Grundlagen bei der bautechnischen Bewertung mit zu berücksichtigen. Sie allein reichen aber nicht aus, um Bauprojekte umfassend zu planen.

Für die ingenieurmäßige Erfassung der Eigenschaften des Untergrunds benötigt man Kennwerte, mit denen die Eigenschaften beschrieben werden können, mathematische Beziehungen, mit denen Veränderungen vorhergesagt werden können und Methoden, um diese Kennwerte festzustellen. In stärkerem Maße als in anderen baustoffspezifischen Fachgebieten müssen die gegenseitigen Wechselbeziehungen zwischen

- Baustoffkunde,
- Festigkeitslehre und
- Bemessungsansätzen des Bodens in Abhängigkeit der Konstruktion

beachtet werden.

Ziel der Boden- und Felsmechanik ist die Bereitstellung von Verfahren, die die rechnerische Nachweisführung und die zahlenmäßige Erfassung der Eigenschaften von Boden und Fels ermöglichen. Es muss nachgewiesen werden, dass die Bauwerke standsicher sind (Grenzzustand der Tragfähigkeit, Stabilität) sowie keine schädlichen Verformungen erleiden (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit). Darüber hinaus ist die Wirkung des Wassers im Boden zu berücksichtigen.



**Bild 1.5** Varianten der Gründung des Brückenwiderlagers bei wenig tragfähigem Untergrund

## ■ 1.3 Beispiel für ein Bauprojekt: Beschreibung

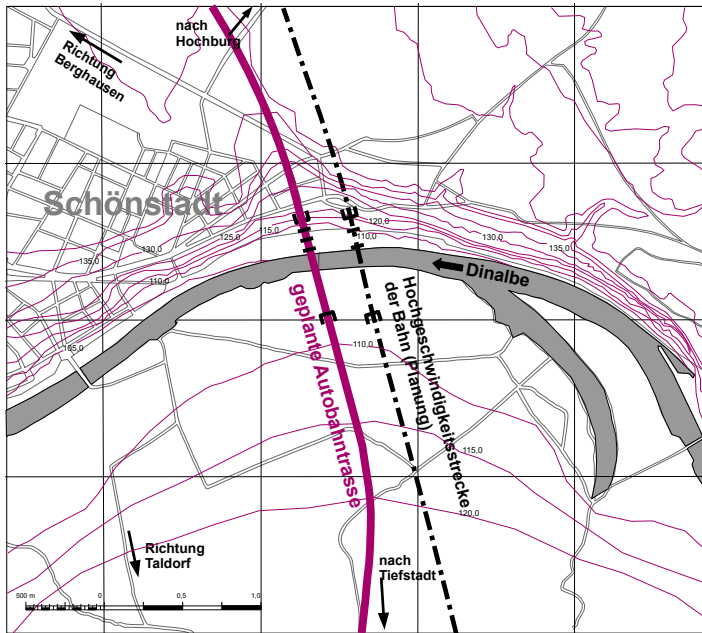
Zur Veranschaulichung der grundsätzlichen Arbeitsweisen wird im Folgenden als Beispiel die Planung der Ingenieur- und Erdbauwerke einer Verkehrsstrasse benutzt. Die Region um die Gemeinden Tiefstadt/Taldorf im Süden soll mit dem Gebiet Berghausen/Hochburg im Norden durch eine Autobahn und eine Hochgeschwindigkeitseisenbahnstrecke verbunden werden.

Schönstadt, das Verwaltungszentrum für das gesamte Gebiet, liegt zwischen beiden Regionen und soll deshalb in die Trassenführung einbezogen werden. Beide Verkehrsstrassen queren den Fluss Dinalbe. Dafür ist die Errichtung von zwei Brücken erforderlich. Da das Gelände nördlich der Dinalbe ansteigt, wird die Eisenbahnstrecke als Tunnel weitergeführt, die Autobahn soll dem Geländeverlauf folgen bzw. abschnittsweise als Einschnitt hergestellt werden. Südlich der Dinalbe verläuft das Gelände flach bzw. steigt nur geringfügig. An die Brücke schließt sich deshalb im Süden ein Verkehrsdammer an.

Nachdem der Verlauf der Autobahn- und der Eisenbahntrasse feststeht, ist das gesamte Projekt planerisch zu bearbeiten, wobei die Aufteilung in einzelne Abschnitte, sogenannte Lose, dazu dient, die zeitgleiche Bearbeitung durch mehrere Planer zu vereinfachen. Liegt diese Einteilung vor, kann mit dem Entwurf der einzelnen Abschnitte begonnen werden.

Aus mehreren Entwürfen ist die nach wirtschaftlichen und bautechnischen Kriterien optimale Lösung auszuwählen. Alle vorgeschlagenen Varianten müssen realisierbar sein. Die Gründung und das gesamte Bauwerk müssen standsicher sein und während der geplanten Nutzungsdauer dürfen keine Zustände eintreten, die die Funktion beeinträchtigen.

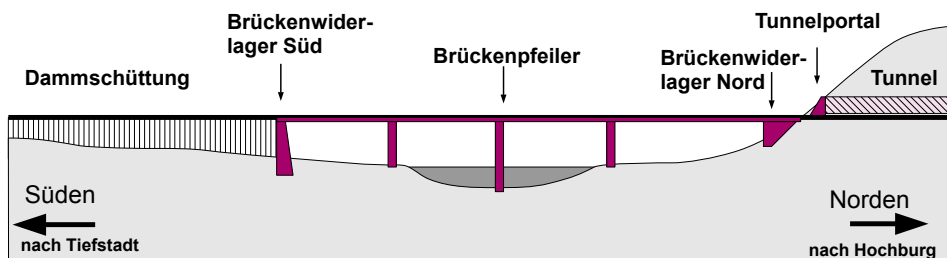
Da alle Bauwerke in irgend einer Form ihre Lasten in den Untergrund abtragen oder selbst durch den Boden belastet werden, z. B. Tunnel oder Stützmauern, müssen die Eigenschaften



**Bild 1.6** Topographische Karte mit dem geplanten Verkehrszug

des Baugrunds berücksichtigt werden. Erst wenn die bautechnisch relevanten Eigenschaften bekannt sind, können die Entwürfe für Gründungen, Stützbauwerke, Baugruben, Tunnel usw. aufgestellt und miteinander verglichen werden. Die zahlenmäßige Beschreibung der Eigenschaften des Baugrunds und der Vorgänge bei baulichen Eingriffen ist Gegenstand der Boden- und Felsmechanik. Dagegen werden die eigentlichen Bauweisen, die Vor- und Nachteile der Konstruktionen und die kompletten rechnerischen (statischen) Nachweise in den Fachgebieten Erd- und Dammbau, Grundbau und Tunnelbau behandelt.

Bei dem Planungsbeispiel Damm-Brücke-Tunnel wird ein ca. 600 m langer Ausschnitt aus einer mehrere Kilometer langen Strecke betrachtet. Für den Ausschnitt gemäß [Bild 1.6](#) ist unter Berücksichtigung der Topographie die gesamte Strecke in Einschnitte, Dämme, Brücken und Tunnel zu unterteilen. [Bild 1.7](#) gibt einen schematischen Überblick über die erforderlichen Bauwerke. Bereits bei der Vorplanung sind einige grundsätzliche Überlegungen zu beachten.



**Bild 1.7** Schematischer Schnitt durch das Gelände, Anordnung der Ingenieurbauwerke

**Damm (Los 1):** Dämme sind Aufschüttungen von Lockergestein. Dazu muss der Boden gelöst, verladen, zur Baustelle transportiert und dort eingebaut werden. Der Damm soll standsicher sein, d. h. Rutschungen wie in *Bild 7.1* dürfen nicht eintreten. Dafür muss der angelieferte Boden bezüglich seiner Eigenschaften grundsätzlich geeignet sein und er muss so eingebaut und verdichtet werden, dass die Standsicherheit gewährleistet ist. Außerdem darf der Damm nicht versinken, d. h. vor Aufschütten des Damms muss der Untergrund auf seine Tragfähigkeit hin bewertet und gegebenenfalls verbessert werden.

**Brücke (Los 2):** Am Anfang und am Ende der Brücke sind Widerlager angeordnet. Diese gewährleisten den Übergang vom Brückenbauwerk zum Damm, Tunnel bzw. zum Gelände. Gleichzeitig dienen die Widerlager der Abstützung des Geländesprungs. Für die Abstützung der Brücke sind Pfeiler zu errichten. Die Pfeiler tragen die Lasten der Brücke und des Verkehrs in den Untergrund ab. Ist die Tragfähigkeit unmittelbar unterhalb der Aufstandsfläche ausreichend hoch, kann eine Flachgründung angeordnet werden. Andernfalls ist die Herstellung von Tiefgründungen, z. B. mit Pfählen erforderlich.

**Einschnitte (Los 3):** Einschnitte können senkrecht erfolgen, wobei dann eine Sicherung durch Stützmauern oder ähnliche Konstruktionen erforderlich ist, oder sie werden als Böschungen hergestellt. Stützwände müssen dem Druck des Erdreichs standhalten. Die Berechnung dieses „Erddrucks“ ist Aufgabe des Bauingenieurs. Böschungen sollen möglichst steil hergestellt werden, damit der erforderliche Aushub nicht zu groß ausfällt. Sie müssen aber auch ausreichend standsicher sein. Für den Nachweis der Standsicherheit oder die Berechnung des Erddrucks benötigt man Berechnungsverfahren und Kennwerte des Untergrunds.

**Tunnel (Los 4):** Bei der Herstellung von Tunneln wird der Zustand des Untergrunds erheblich verändert. Die Auswirkungen dieser Veränderungen dürfen keine negativen Folgen auf die vorhandene Bebauung haben. Es sind die Grundlagen für die wirtschaftliche und sichere Konstruktion des Tunnels bereitzustellen.

Die Anforderungen an die Planung sind sehr vielfältig. Ziel ist es, optimale Lösungen aus einem breiten Spektrum möglicher Bauweisen auszuwählen, diese Vorzugsvariante rechnerisch nachzuweisen und alle Bauhilfsmaßnahmen (Baugrubenverbau) und baubetrieblichen Aspekte bei der Planung zu berücksichtigen.





# 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.



#### Beispielprojekt: Damm-Brücke-Tunnel

**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

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.

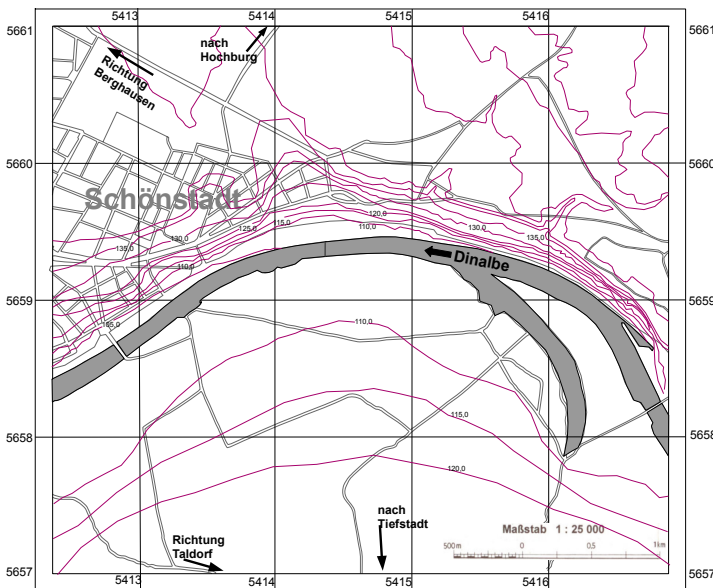
Für die Beschaffung von Informationen über das Bauvorhaben und die örtlichen Gegebenheiten werden Karten, das Internet, Datensammlungen in Behörden, Institutionen oder

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.),
- 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

# Stichwortverzeichnis

## A

Abrasivität 174  
Abstandsgeschwindigkeit 136  
Abteilung 25  
Adsorptionswasser 49  
äolisch 42  
Äonen 25  
Ära 25  
amorph 30  
Anfangsstandsicherheit 144  
Aquiclude 51  
Aquifer  
– artesischer 51  
– gespannter 51  
– leckender 51  
– schwebender 51  
– ungespannter 51  
Aquifuge 51  
Aräometer 111  
Arbeitslinie, hyperbolischer Ansatz 154  
Arsenate 33  
Ausrollgrenze 115

## B

Ballongerät 106  
Barotropie 147  
Baugrunderkundung 84  
– Art und Umfang 86  
– Aufschlussarten 89  
Bettungsmodul  
– aus Plattendruckversuch 171  
– Fundamentbemessung 276  
Böden  
– Entstehung 71  
– Korngrößen 70  
– organischer Anteil 72

## Boden/Bodeneigenschaften

– Klassifikation  
– Merkmale in Verdingungsnormen 173  
Bodengruppen, Klassifizierung 121  
Bodenklassen 171  
Bodenmechanik 15  
Bohrkernindex 64  
Bohrpunktkarte 84  
Borate 32  
Böschungsbruch  
– ebene Gleitflächen 246  
– Kreisgleitfläche, lamellenfrei 248  
– Lamellenverfahren Kreisgleitfläche 249  
– Lamellenverfahren, beliebige Gleitflächen 251  
– Starrkörperverfahren 253

## C

Carbonate 32  
Chromate 33  
Culmannverfahren, Erddruck 212

## D

Densitometer 106  
Deviator 132  
Dichte 106  
dichteste Lagerung 120  
Dilatanz 146  
Direktscherversuch 150  
Druckfestigkeit  
– einaxiale des Bodens 151  
– einaxiale Fels 60  
– Fels, mittlere Werte 61  
Drucksondierung 97  
Durchlässigkeit 136  
– horizontal 136  
– Korrelation bindiger Boden 183

- Durchlässigkeitsversuch
- Feldbestimmung 141
- konstante Druckhöhe 139
- veränderliche Druckhöhe 140

**E**

- Edukt 45
- Elemente 31
- Endstandsicherheit 144
- Entnahmekategorie 92
- Epoch 25
- Erddruck
  - Definition 202
  - Gleitflächenbetrachtung 205
  - Mobilisierung 227
  - Neigung 202
  - Rankinescher Sonderfall 211
  - Spannungsbetrachtung 209
  - Verdichtungsdruck 229
- Erddruck, aktiv
  - analytische Ermittlung 213
  - Berechnungsablauf analytisch 218
  - grafische Ermittlung 211
- Erddruck, passiv
  - kinematische Lösung 219
  - statische Lösung 220
- Erddruckbeiwerte
  - aktiv infolge Eigengewicht 216
  - passiv infolge Eigengewicht 223
  - passiv infolge Kohäsion 224
- Erdradius 23
- Erdruhedruck 223
  - vorbelastete Böden 227
- Erkundungsverfahren 89
- Ersatzverfahren 105
- Erz 30

**F**

- Fallkegel 117
- FDVK 128
- Fels
  - Verwitterungsstufen 62
- Felsmechanik 15
- Filtergeschwindigkeit 136
- Filterkriterium 194
- Filterregel 194
- Fläche, wirksame 237
- Flächenbruch 201
- Fließgrenze 115
- Flügelsondierung 99
- Fluidaltexur 41
- fluviatil 42, 71

- Formation 25
- freier GWL 51
- Frostempfindlichkeit 174

**G**

- Gauß-Krüger-Koordinaten 81
- Gebirgsklassifikation 65
- Gefälle, hydraulisches 130
- geotechnische Kategorie 84
- Gesamtscherfestigkeit 148
- Gestein 31
  - glazial 42, 71
- Glühverlust 109
- Gradient, hydraulischer 130
- Grenztiefe 273
- Grundbruch
  - Durchstanzen 241
  - Geländeneigung 240
  - Grundbruchgleichung 236
  - Lastneigung 238
  - Sohlneigung 240
- Grundwasser 49
- Grundwasserflurabstand 51
- Grundwasserleiter 51
- Grundwasserstockwerk 51
- GSI Geological Strength Index 70
- Güteklassen (Bodenproben) 92

**H**

- Haftwasser 49
- Halogenide 32
- Hauptspannungsverhältnis
  - kritisches 198
- Hauptuntersuchung 86
- Hochwert 81
- Hungerquelle 52
- Hydroxide 32

**K**

- Kalkgehalt 109
- Kapillarwasser 49
- Karten, geologische 84
- Kategorie der Entnahme 92
- Kennwerte, mittlere 185, 186
- kennzeichnender Punkt 262
- Klassifizierung 121
- Kleinrammbohrung 91
- Kluftflächen 64
- Kluft-GWL 51
- Kluftauigkeitszahl 66
- Kluftsysteme 66
- Kluftveränderungszahl 67

Kohäsion  
– Definition 143  
Kohäsion, undränierter  
– Korrelation 178  
Kompressionsbeiwert  $C_c$  163  
Kompressionsversuch  
– eindimensionaler 167  
– triaxialer 152  
Konsistenzgrenzen 115  
Konsolidation 163  
Konsolidationsbeiwert  $c_v$  164  
Konsolidationssetzung 164  
Korndichte 107  
Korngrößenverteilung 111  
Korrelation  
– Durchlässigkeit nichtbindig 177  
– Konsistenz 177  
– Reibungswinkel nichtbindig 175  
– undränierter Kohäsion 177  
Korrelationen  
– Reibungswinkel bindig 179  
– Restscherfestigkeit 180  
Kreisringscherversuch 150  
Kriechbeiwert  
– Korrelation 183  
Kriechsetzung 164  
Kristall 30  
kritischer Zustand 146  
Krümmungszahl  $C_c$  111

## L

Laborflügelsonde 117  
Lagerungsdichte 120  
Lamellenverfahren  
– beliebige Gleitflächen 251  
– Kreisgleitfläche 249  
limnisch 42  
lockerste Lagerung 120  
Longitudinalwelle 25  
Lösbarkeit 171

## M

Magma 40  
marin 42  
Metamorphite 45  
Metamorphose 45  
Mineralklassen  
– Borate 32  
– Carbonate 32  
– Elemente 31  
– Halogenide 32  
– Hydroxide 32

– Nitrate 32  
– Organische Verbindungen 33  
– Oxide 32  
– Phosphate 33  
– Silikate 33  
– Sulfate 33  
– Sulfide 31  
Molybdate 33  
Mudde 72

## N

Nitrate 32

## O

Ödometerversuch 167  
Organische Verbindungen 33  
organischer Boden 72  
Oxide 32

## P

palustrin 42, 71  
Pastizitätszahl 115  
Periode 25  
Phasenzusammensetzung 101  
Phosphate 33  
Plattendruckversuch 169  
Porenanteil  $n_f$ , durchflusswirksamer 136  
Poren-GWL 51  
porphyrisch 41  
Primärsetzung 164  
Probenahme 92  
Proctordichte  
– Erfahrungswerte 184  
Proctorversuch 124  
p-Welle 25  
Pykonotropie 147  
Pyroklastite 42

## Q

Q-System 65  
Quality-System 65  
Quellen 267

## R

Rahmenscherversuch 150  
Rammkernsondierung 91  
Rammsondierung 96  
Rankinescher Sonderfall 211  
Rechtswert 81  
Referenzparameter 158  
Reibungswinkel  
– Definition 143

- Fels, mittlere Werte 61
- spannungsabhängiger 147
- spannungsabhängiger, Näherung 177
- Rekompressionsbeiwert  $C_{cr}$  163
- Restscherfestigkeit 146
- RQD-Wert 64
- Rückstandsböden 71

## S

- Sackung 267
- Sackungsmaß 268
- Scherfestigkeit
  - Bruchkriterium 143
  - dichteabhängige 147
  - druckabhängige 147
  - Erfahrungswerte 148
  - Gesamtscherfestigkeit 148
  - Mobilisierung 145
  - Mobilisierungsfunktion 154
  - undrÄnierte Bruchbedingung 144
- Schergeschwindigkeit 149
- SchichtflÄchen 64
- Schichtquelle 52
- SchieferungsflÄchen 64
- schlaffes Fundament 261
- Schrumpfgrenze 120
- Schrumpfung 267
- Schuttquelle 52
- Schwellbeiwert  $C_s$  163
- Schwellhebung 267
- SekundÄrsetzung 164
- Selbstfiltrationsindex 194
- Senkung 267
- Setzungsberechnung
  - Korrekturbeiwerte  $\kappa$  273
  - Setzungseinflusswerte 277
  - Verdrehung 275
- Sickerwasser 49
- Silikate 33
- Silodruck 230
- Sofortsetzung 164
- Sohlspannungsverteilung 261
- Sondierung
  - Drucksondierung 97
  - Rammsondierung 96
- Spaltenquellen 52
- Spannungen 131
  - Deviator 132
  - wirksame 133
- Spannungseinflusswert 261
  - schlaffes Rechteckfundament 264
  - starres Rechteckfundament 266

- Spannungsreduktionsfaktor  $SRF$  68
- Stand sicherheitszahl 255
- starres Fundament 262
- StarrkÖrperverfahren 253
- Stauquelle 52
- Steifemodul
  - Definition 158
  - Korrelationen 180
  - Steifemodulparameter  $\nu, w$  162
- Strömungskraft 190
  - Böschungen 245
  - Herleitung 189
- Strömungsnetz 190
- Stützmittelzahl, Äquivalente 65
- Sulfate 33
- Sulfide 31

## T

- Tagesbruch 267
- Taschenpenetrometer 117
- Taylor-Diagramm 255
- Tiefenstufe, geothermische 24
- Torf 72
- TrennflÄchengefüge 63
- Triaxialversuch
  - Arbeitslinie 154
  - Versuchsaufbau 151

## U

- Überlaufquelle 52
- Ungleichförmigkeitszahl  $C_u$  111

## V

- Vanadate 33
- VerÄnderlichkeit Fels 62
- Verdichtungserddruck 229
- Verdichtungskontrolle 128
  - Anforderungen 127
  - Eignungsprüfung 127
  - Prüfmethoden 128
  - Prüfumfang 128
- Verengungsquelle 52
- Verfestigungsgrad  $\mu$  164
- Verformungsmodul, initialer  $E_i$  155
- Verwitterungsgrad 62
- Vorbelastung, Spannung 159
- Voruntersuchung 86
- Vulkanite 41

## W

- Wandreibungswinkel 203
- Wassergehalt 106

Webanwendungen

– Geologische Informationen [84](#)

Windablagerungen [71](#)

wirksame Fläche [237](#)

Wolframate [33](#)

## Z

Zähigkeitsindex [149](#)

Zugfestigkeit, Fels [61](#)

Zusammendrückbarkeit [155](#)