

A Einführung

A-1 Vorbemerkung

Das Kompendium ist als Arbeitsgrundlage für Studienzwecke im Bereich des Fachgebietes der Geotechnik geeignet. Der vorliegende Teil 1 beinhaltet die Grundlagen, wobei das Hauptaugenmerk auf dem Boden, der sowohl als Baugrund als auch als Baustoff dienen kann, liegt. Als zentraler Gegenstand werden die Untersuchungen des Bodens zur Bestimmung seiner Eigenschaften, u. a. auch im Kontext zur Planung und Ausführung von Gründungsbauwerken, behandelt.

Es wird versucht, die häufig komplexen Zusammenhänge aus den unter Kapitel A-2 ausgewiesenen Kompetenzfeldern einfach zu erläutern und mit zahlreichen Abbildungen zu veranschaulichen, sodass Studierende/Nutzer die Möglichkeit haben, Inhalte zu erarbeiten und/oder sich planmäßig auf Prüfungen vorzubereiten. Zur Unterstützung des Selbststudiums sind am Ende jedes Kapitels Checkpoints mit gezielten Fragen bereitgestellt, die dabei unterstützen, das Wesentliche des behandelten Stoffes zu erkennen. Für weiterführende Recherchen wird die kapitelweise angegebene Literatur empfohlen.

Trotz größter Sorgfalt ist es leider nicht ganz auszuschließen, dass sich der ein oder andere „Fehlerteufel“ eingeschlichen hat. Diesbezügliche Hinweise nehme ich gern per Mail (Britta.Kruse@HTW-Berlin.de) entgegen.

A-2 Kompetenzfelder

Der Inhalt dieses Kompendiums lässt sich in die folgenden fünf fachlichen Kompetenzfelder einordnen:

- Boden (Lockergestein) benennen, beschreiben und klassifizieren
- Wasser im Boden – Erscheinungsformen, Bedeutung und Auswirkung kennen
- Baugrund mit Bodenuntersuchungen im Gelände erkunden
- Beschreibende Bodenkenngößen sowie das Festigkeits- und Verformungsverhalten von Böden (Lockergesteinen) mit Hilfe von bodenmechanischen Laborversuchen bestimmen
- Bodenklassifizierungen vornehmen und Baugrund in Homogenbereiche einteilen

A-3 Warum Geotechnik?

„Ein Bild sagt mehr als tausend Worte...“



Abb. A-01: Schiefer Turm von Pisa (eigenes Foto 2018)

Der schiefe Turm von Pisa ist wohl das bekannteste Beispiel für eine Fehleinschätzung der Tragfähigkeit des Baugrundes. Denn, dieser wurde in vorwiegend nicht tragfähigem Sediment, im Übergangsbereich zwischen einem verlandeten Hafenbecken und einer ehemaligen Insel, gegründet. Schließlich resultierten daraus ungleichmäßige Setzungen, die zu der Schiefstellung des Turmes führten.



Abb. A-02: Einsturz Kölner Stadtarchiv [4]

Ursächlich für den Einsturz im März 2009 war ein nicht entfernter Gesteinsblock, der zu einer Undichtigkeit in einer Schlitzwand führte. Durch das entstandene Loch wurden Boden und Wasser aus dem Baugrund unter dem Archiv herausgespült. Dieser Materialentzug bewirkte den Einsturz. [5]



Abb. A-03: Erdbeben von Nachterstedt [6]

Die Böschungsbewegung vom 18.07.2009 ist „durch ein nicht vorhersehbares dynamisches Initial und den ebenfalls unvorhersehbaren, hohen artesischen Wasserüberdruck als Folge der anomalen lokalen Rinnenstruktur des Liegendgrundwasserleiters verursacht worden...“. [7]

Diese drei Abbildungen zeigen unterschiedlichste Bauschäden hinsichtlich Art und Auswirkungen. Die menschlichen Ursachen reichen dabei von Sorglosigkeit oder Unkenntnis über Missdeutung bis hin zu Wissenslücken in Bezug auf die hohe Komplexität des Zusammenwirkens verschiedener geologischer und hydrogeologischer Phänomene. Die Gemeinsamkeit all dieser Schäden liegt aber grundsätzlich in der Fehleinschätzung des Baugrundverhaltens.

Bauschäden führen häufig zu großen materiellen Schäden. Auch kommt es leider immer wieder vor, dass Gefahr für Leib und Leben eintritt, also Personen ernsthaft geschädigt werden.

Die Aufgabe eines jeden Bauingenieurs muss es also sein, Bauschäden grundsätzlich zu vermeiden. Dazu sind solide Kenntnisse in der Geotechnik zwingend erforderlich, da man sowohl bei der Konstruktion und Berechnung als auch bei der Ausführung von sicheren Bauwerken den im Untergrund befindlichen Boden als Baugrund oder als Baustoff richtig einschätzen muss.

A-4 Was ist Geotechnik?

Die Geotechnik, ein fundamentales, komplexes und hoch spezialisiertes Teilgebiet des Bauingenieurwesens, ist eine vergleichsweise junge Wissenschaft, die 1925 durch den Österreicher CARL TERZAGHI (1883–1963) mit seinem Werk „Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage“ begründet wurde. Doch auch schon lange vorher befassten sich die Menschen mit dem Medium Boden als Baugrund und Baustoff (z. B. Pfahlgründungen oder Erdwälle als Befestigungsanlagen). So wurden von dem französischen Physiker und Festungsbaumeister CHARLES AUGUSTIN DE COULOMB (1736–1806) erste mathematische Theorien über Bodenkräfte abgeleitet und daraus die klassische Erd-drucktheorie entwickelt.

Die Aufgabe der Geotechnik besteht zunächst darin, den Baugrund, der aus Lockergestein (Boden) und/oder Festgestein (Fels) aufgebaut sein kann, zu untersuchen und im Hinblick auf seine Eignung zur Aufnahme von Bauwerkslasten oder auf seine Verwendung als Baustoff zu beurteilen.

Auf dieser Grundlage aufbauend sind vom Geotechniker schließlich Gründungen, Baugruben, Stützbauwerke etc. zu planen, die ausreichend weit von dem Grenzzustand der Tragfähigkeit (vollständiges Versagen) und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (vorgesehene Nutzung nicht mehr möglich) entfernt sind.

Besondere Herausforderungen stellen heute z. B. das Bauen im Bestand, innerstädtische Infrastrukturbaumaßnahmen oder der Entwurf und die Ausführung tiefer, teilweise im Grundwasser liegender Baugruben dar.

Unter dem Begriff Geotechnik sind verschiedene Wissenschaftsdisziplinen zusammengefasst (Abb. A-04), wobei eine Unterteilung in Grundlagenwissenschaften und verschiedene Anwendungsgebiete vorgenommen werden kann.

Zu den sogenannten Grundlagenwissenschaften können die Boden- und Felsmechanik sowie die Baugrunderdynamik gezählt werden, welche sich mit den mechanischen Eigenschaften und dem Verhalten des Baugrundes als Locker- oder Festgestein unter statischen und dynamischen Verhältnissen beschäftigen.

Das Anwendungsgebiet Grundbau ist die Lehre von Entwurf, Bemessung und Ausführung von Bauwerken unter Berücksichtigung der Baugrundeigenschaften. Als Erdbau werden alle erforderlichen Maßnahmen bezeichnet, die in Verbindung mit der Erstellung von Erdbauwerken, wie z. B. Dämmen oder Einschnitten stehen. Der Tunnel- und Hohlraumbau beschäftigt sich mit Entwurf, Bemessung und Ausführung von Hohlraumbauten unterhalb der Geländeoberfläche, wie z. B. Verkehrstunneln oder Kavernen. Als Kavernen werden große unterirdische Hohlräume bezeichnet.

Ein weiteres großes Anwendungsgebiet ist die Umweltgeotechnik, die sich mit Neubau und Sanierung von Deponien (Deponiebau), Erkundung, Sicherung und Sanierung von Altlasten (Schadstoffen) im Boden, mit Erdwärme- bzw. Thermospeichern sowie der Problematik der Endlagerung von (radioaktiven) Abfällen im Untergrund befasst.



Abb. A-04: Wissenschaftsdisziplinen der Geotechnik, in Anlehnung an [1]

A-4.1 Baugrundrisiko

Der Baugrund kann sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus technischen Gründen nicht flächendeckend, sondern nur stichprobenartig, d. h. an ausgewählten Punkten erkundet werden. Über Beschaffenheit und Eigenschaften des Baugrunds zwischen diesen Punkten können deshalb nur Vermutungen angestellt werden, die vage, d. h. unsicher sind. Das Baugrundrisiko (Abb. A-05) ist also durch die Tatsache, dass die Bauaufgabe anhand von nicht umfänglich bekannten Baugrundverhältnissen gelöst werden muss, begründet.

Das Baugrundrisiko liegt grundsätzlich beim Bauherrn als Eigentümer des Baugrunds (Auftraggeber AG). Er muss dafür Sorge tragen, dass die Baugrundverhältnisse fachgerecht, vorschriftsmäßig und nach den anerkannten Regeln der Technik erkundet und im Geotechnischen Bericht eindeutig beschrieben werden.

In Ausnahmefällen kann das Baugrundrisiko durch Individualvereinbarungen auf den Auftragnehmer (AN) übergehen. Dies gilt auch dann, wenn ein vom AN angebotener Sondervorschlag den untersuchten und beschriebenen Baugrund verlässt.

Der Inhaber des Baugrundrisikos trägt jegliche Folgen, die sich hinsichtlich der Vergütung, der Gewährleistung und/oder der Fristen ergeben. [2]

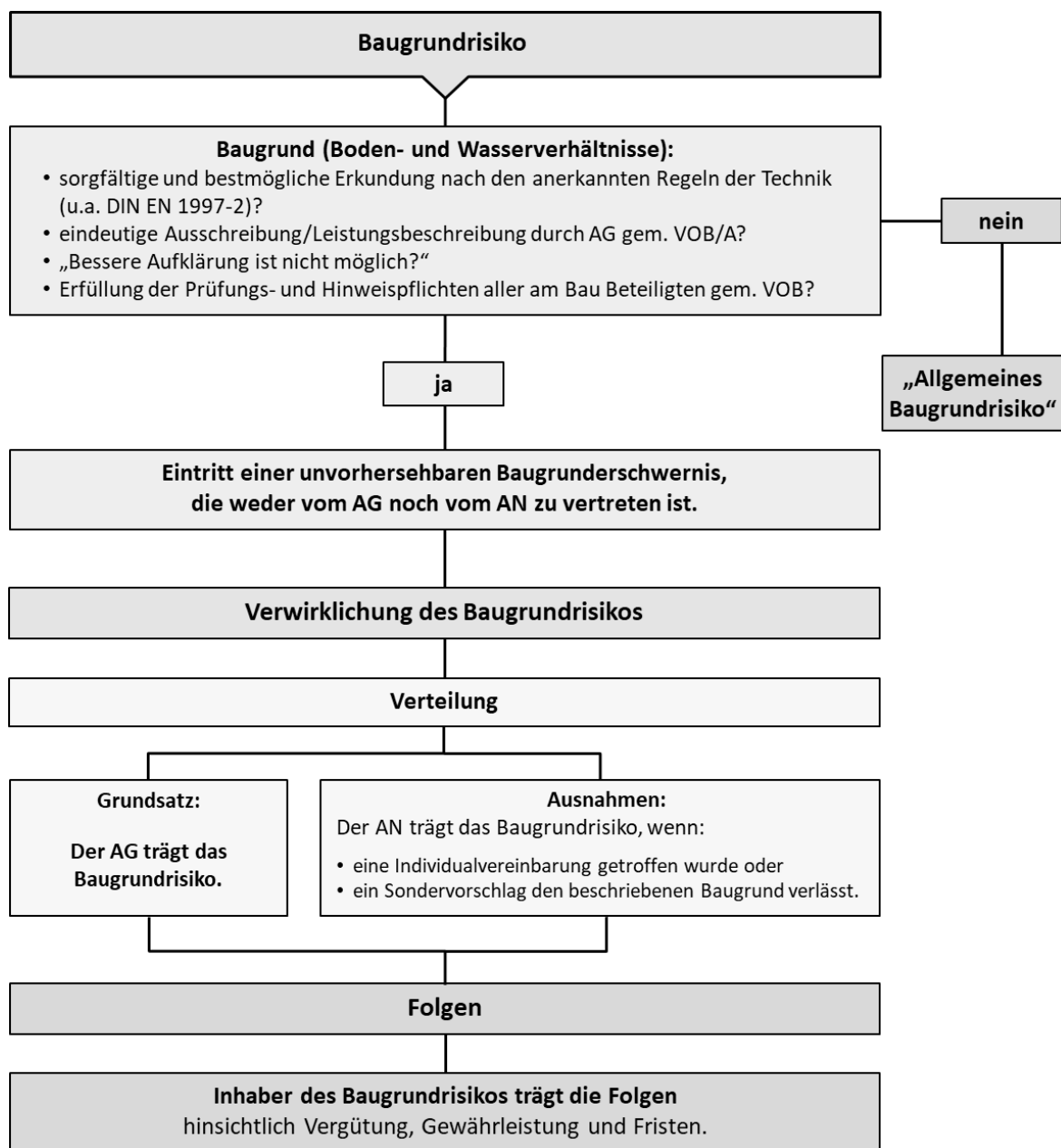


Abb. A-05: Baugrundrisiko, verändert nach [2]

A-4.2 Geotechnische Untersuchungen

Unter geotechnischen Untersuchungen versteht man im Allgemeinen Feld- und Laboruntersuchungen im Bereich der geplanten Baumaßnahme, welche mit dem Ziel durchgeführt werden, den räumlichen Aufbau des Baugrunds und die Eigenschaften des Bodens sowie die Grundwasserverhältnisse zu erfassen.

Mit den so ermittelten Daten wird ein Modell vom untersuchten Bereich des Untergrundes erstellt, um mit dessen Unterstützung die Eignung als Baugrund einschätzen und damit eine technisch einwandfreie Planung und Ausführung des Bauwerks gewährleisten zu können. Außerdem lassen sich anhand eines derartigen Baugrundmodells die Eignung von Boden als Baustoff einschätzen sowie dessen Gewinnung und Einsatz qualifiziert planen.

Baugrundmodelle, welche auf unvollständigen, unpräzisen oder fehlerhaften Informationen basieren, können zu unwirtschaftlichen Bemessungen und gegebenenfalls zum Verlust der Gebrauchstauglichkeit oder der Tragfähigkeit des Bauwerks führen. Aufgrund dessen haben geotechnische Untersuchungen im gesamten Bauprozess einen hohen und zentralen Stellenwert.

Statistische Erhebungen, dargestellt in Abbildung A-06, unterstreichen diese Aussage. Abgebildet sind unterschiedliche Ursachen für Bauschäden an Baugruben und Gräben. Der größte Anteil der Bauschäden ist demnach mit 31 % auf unzureichend ausgeführte geotechnische Untersuchungen zurückzuführen.

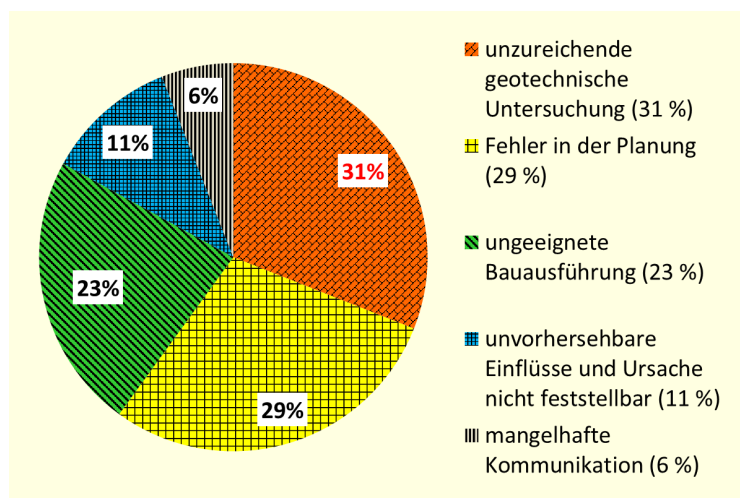


Abb. A-06: Ursachen für Bauschäden an Baugruben und Gräben, in Anlehnung an [3]

A-4.3 Geotechnischer Bericht

Gem. Handbuch EC 7-2 (2011) [8] ist der Geotechnische Bericht, der bisher auch als Baugrund- und Gründungsgutachten bezeichnet wurde, die Zusammenfassung, Dokumentation und Bewertung aller Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen (Baugrunderkundung und bodenmechanische Laborversuche). Auf dieser Grundlage werden mit der sog. Baugrundbeurteilung und Gründungsempfehlung dann Schlussfolgerungen für die Planung und Ausführung des Bauwerkes gezogen.

Um sowohl Art als auch Umfang der erforderlichen geotechnischen Untersuchungen festlegen zu können, muss nach EC 7 (DIN EN 1997-2) jede Baumaßnahme vorab in eine sogenannte Geotechnische Kategorie (GK) eingestuft werden. Diese Einstufung wird unter Berücksichtigung des Schwierigkeitsgrades, welcher sich in Abhängigkeit der Randbedingungen ergibt, die aus Bauwerk und Baugrund resultieren, vorgenommen. Konkret werden drei Geotechnische Kategorien (GK 1 - geringer, GK 2 - mittlerer und GK 3 - hoher Schwierigkeitsgrad) unterschieden.

Wird die Baumaßnahme in die Geotechnischen Kategorien GK 2 oder GK 3 eingestuft, ist die Erstellung eines Geotechnischen Berichts zwingend erforderlich. Dieser ist die Grundlage für die Grob- und Detailplanung sowie die Bemessung von z. B. Gründungskörpern oder Baugruben durch die Nachweisführung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS... Ultimate Limit State) und der Gebrauchstauglichkeit (SLS... Serviceability Limit State). Der Geotechnische Bericht, der um diese Nachweise erweitert ist, wird gem. EC 7 (DIN EN 1997-2) als Geotechnischer Entwurfsbericht bezeichnet (Abb. A-07).

Der Geotechnische Bericht/Entwurfsbericht muss durch Beratende Ingenieure für Bodenmechanik, Erd- und Grundbau (Ingenieurbüros) oder durch öffentliche Einrichtungen, wie z. B. Hochschulinstitute, Materialprüfanstalten sowie Bundesanstalten für Straßenwesen oder Wasserbau, erstellt werden.



Abb. A-07: Einordnung des „Geotechnischen Berichts/Entwurfsberichts“ in den Bauprozess

A-5 Checkpoint(A)

- (1) Beschreiben Sie, worin die Aufgabe der Geotechnik besteht.
- (2) Wer ist der Begründer der Geotechnik?
- (3) Erläutern Sie die Begriffe Grenzzustand der Tragfähigkeit und Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, geben Sie Beispiele an. Was genau bedeuten die Abkürzungen ULS und SLS?
- (4) Was versteht man unter Baugrund und woraus kann dieser aufgebaut sein?
- (5) Erklären Sie den Begriff Baugrundrisiko. Wer trägt die Folgen, wenn das Baugrundrisiko verwirklicht ist?
- (6) Was versteht man unter geotechnischen Untersuchungen und mit welchem Ziel werden diese durchgeführt?
- (7) Erläutern Sie, wonach Art und Umfang der geotechnischen Untersuchungen festgelegt werden.
- (8) Erläutern Sie, was ein Geotechnischer Bericht gem. DIN 4020 ist. Welche Angaben muss ein Geotechnischer Entwurfsbericht entsprechend EC 7 (DIN EN 1997-2) zusätzlich enthalten?
- (9) Durch wen muss der Geotechnische Bericht/Entwurfsbericht erstellt werden?

A-6 Literatur (A)

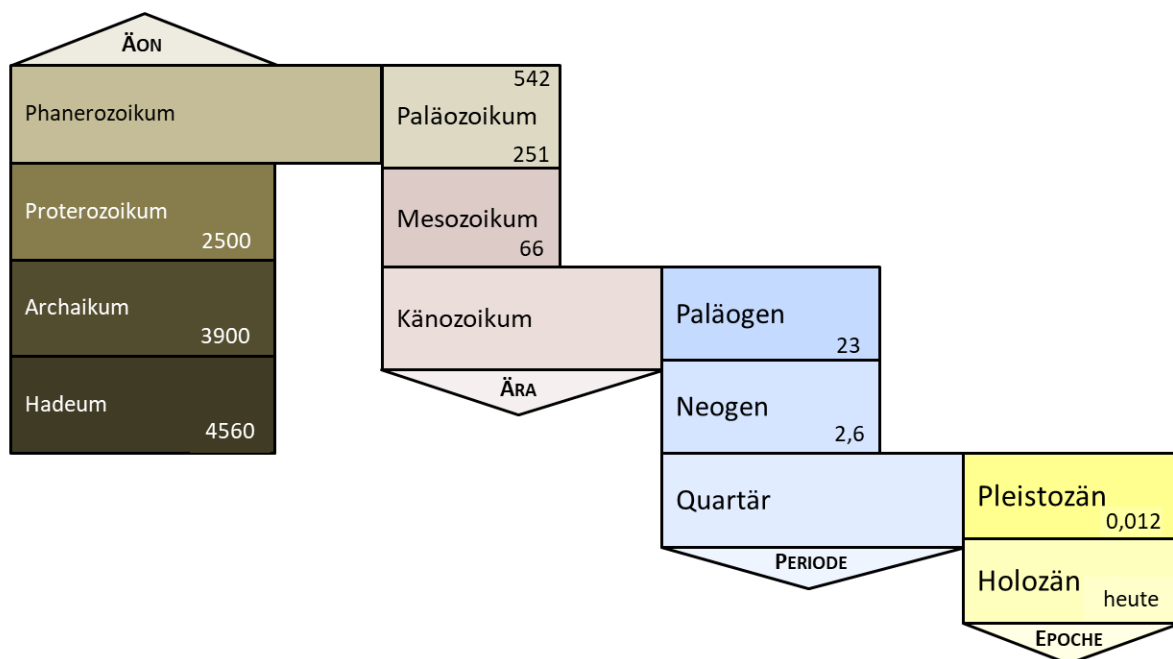
- [1] Floss et al. (2000): Zur Position der Geotechnik als zentraler Disziplin des Bauingenieurwesens, Geotechnik, Heft 23
- [2] Englert et al. (2016): Handbuch des Baugrund- und Tiefbaurechts, 5. Aufl., Werner Verlag
- [3] Möller (2016): Geotechnik – Bodenmechanik, 3. Aufl. Verlag Ernst & Sohn
- [4] Frank Domahs, File: Thedestroyedsixstorycolognecityarchive.jpg, Wikimedia Commons, Abruf am 25.03.2021
- [5] <https://www.dw.com/de/k%C3%B6ln-erinnert-an-stadtarchiv-einsturz/a-4775-8700#:~:Text=Die%20Ursache%20f%C3%BCr%20das%20Ungl%C3%BCck%20die%20Grundwasser%20abhalten%20sollte>, Abruf 25.03.2021
- [6] euroluftbild.de/Grahn, File:Unglück von Nachterstedt File 00017DA4.jpg, Wikimedia Commons, Abruf am 25.03.2021
- [7] <https://www.lmbv.de/index.php/ursachenbericht.html>, Abruf am 25.03.2021
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2011): Handbuch Eurocode 7 - Geotechnische Bemessung- Band 2: Erkundung und Untersuchung, Beuth Verlag GmbH

B Geologische Grundlagen

B-1 Erdzeitalter

Anhand von Meteoriten lässt sich belegen, dass die Erde zusammen mit den anderen Planeten vor etwa 4,56 Mrd. Jahren, zu Beginn des Äons Hadeum entstanden ist. Mit Hilfe von einzelnen entdeckten Mineralkörnern mit einem Alter von 4,4 Mrd. Jahren konnte man schlussfolgern, dass zu dieser Zeit an der Erdoberfläche schon Wasser in flüssiger Form vorhanden war. Im Archaikum, vor 3,9 bis 2,5 Mrd. Jahren, gab es bereits ein Magnetfeld und Wetterereignisse, also Klima. Aus dieser Zeit sind darüber hinaus erste Fossilien von primitiven einzelligen Mikroorganismen überliefert. Plattentektonik und Klima in der heutigen Form waren im Proterozoikum (vor 2,5 Mrd. bis 542 Mio. Jahren) wirksam. Im weiteren Verlauf stieg wegen der Sauerstoffproduktion durch Mikroorganismen, Algen und Pflanzen der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre an. Vor 542 Mio. Jahren begann das Phanerozoikum, welches durch das Auftreten erster schalentragender Organismen charakterisiert ist. [1]

Die weitere zeitliche Unterteilung des Phanerozoikum, in dem wir uns heute noch befinden, ist Abbildung B-01 zu entnehmen. Aus dieser geht auch hervor, dass die gegenwärtige Ära das Känozoikum mit der Periode Quartär und der Epoche Holozän ist. Die geologische Zeitskala mit der Einteilung in Äonen, Ären, Perioden und Epochen ist aus dem relativen Alter der Mineralien und Fossilien abgeleitet worden. [1]



* alle Zeitangaben in Mio. Jahren

Abb. B-01: Geologische Zeitskala

B-2 Schalen Aufbau der Erde

Die Erde ist aus konzentrischen Schalen aufgebaut, die jeweils durch scharfe, ebenfalls konzentrische Grenzflächen voneinander getrennt sind (Abb. B-02).

Die äußerste Schale, die Erdkruste, ist unter den Kontinenten im Mittel etwa 40 km, unter den Ozeanen etwa 7 km mächtig. Der unter der Kruste liegende Erdmantel, bestehend aus dichtem und silikatischem Gesteinsmaterial, erstreckt sich bis zur Kern-Mantel-Grenze (Tiefe 2890 km). Dieser lässt sich weiterhin in den Oberen und Unteren Erdmantel sowie in eine dazwischen befindliche Übergangszone unterteilen. [1]

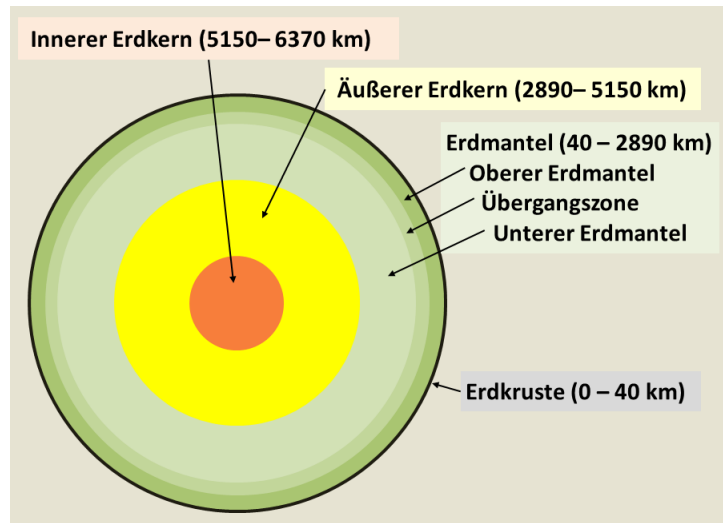


Abb. B-02: Schalen Aufbau der Erde

Bei dem aus Eisen und Nickel bestehenden Erdkern ist ein flüssiger, äußerer und ein fester, innerer Kern zu unterscheiden. Die Grenze zwischen beiden Kernen verläuft in einer Tiefe von etwa 5150 km. [1]

Für die Geotechnik ist nur der oberflächennahe Bereich der Erdkruste von Bedeutung, denn, die Einflusstiefen von Gründungen für Bauwerke oder anderen geotechnischen Baumaßnahmen sind vergleichsweise gering.

B-3 Plattentektonik

Die Lithosphäre, also die steinerne Hülle, umfasst die Erdkruste sowie den obersten Teil des Erdmantels, den sog. lithosphärischen Mantel, und reicht damit bis in eine Tiefe von ca. 100 km. Die Lithosphäre kann insgesamt als starr bezeichnet werden, ist dabei aber keine durchgehende Schale, sondern aus jeweils einzelnen Lithosphärenplatten bzw. tektonischen Platten oder Kontinentalplatten zusammengesetzt. Diese bewegen sich mit Geschwindigkeiten von wenigen Zentimetern pro Jahr über die Erdoberfläche hinweg (Abb. B-03). Die Ursache hierfür ist ein Wärmetransportmechanismus, der als Mantelkonvektion bezeichnet wird. Dieser beschreibt das Phänomen, dass im Erdmantel flüssiges Gestein zirkuliert, wobei das heiße Material aus den tieferen Bereichen bis zu den Lithosphärenplatten aufsteigt, sich durch die Bewegung unter den Platten abkühlt, wieder absinkt, erneut aufgeheizt wird, um dann wieder aufzusteigen

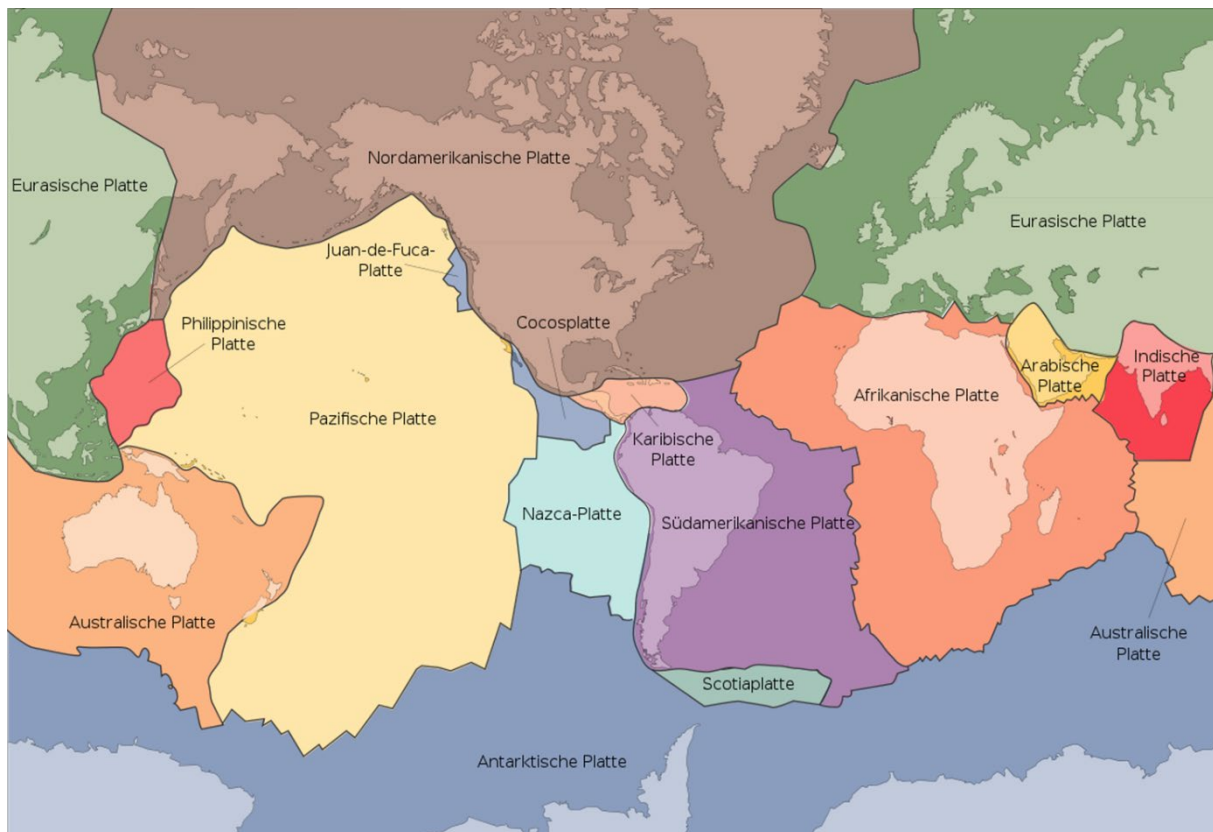


Abb. B-03: Übersicht der tektonischen Platten bzw. der Kontinentalplatten [12]

etc. pp. Die durch die Mantelkonvektion verursachte Bewegung der Kontinentalplatten an der Erdoberfläche wird auch als Plattentektonik bezeichnet. Diese lieferte den Wissenschaftlern erstmals eine einheitliche und anerkannte Theorie, um geologische Phänomene, wie z. B. Erdbeben, Vulkane, Kontinentaldrift und Gebirgsbildung zu erklären. Der Mantel mit seinen Konvektionsbewegungen und das darüberliegende Mosaik von Lithosphärenplatten bilden zusammen das System Plattentektonik. [1]

B-4 Minerale

Minerale sind die Baustoffe aller Gesteine. Sie entstehen durch den Prozess der Kristallisation, bei dem aus gasförmigen oder fluiden Phasen Festkörper gebildet werden. [1]

Marmor ist z. B. monomineralisch, weil dieser nur aus einem einzigen Mineral, dem Calcit besteht (Abb. B-04). Polyminerale Gesteine bestehen aus mehreren Mineralphasen bzw. Mineralarten [1]. Ein typischer Vertreter dieser Gesteine ist z. B. Granit (Abb. B-05).



Abb. B-04: Calcit [13]