



Naturwerksteine im Kreislauf der Gesteine

Zur Einführung oder Auffrischung
zusammengestellt von
J. H. Schroeder
Technische Universität Berlin
Stand: Nov. 2016



Abb. S 2.1 Aquäduktkalkstein
(= -kalksinter) **aus römischer**
Wasserleitung, mit ca. 2.000 Jahren
einer der jüngsten in Deutschland
verwendeten Naturwerksteine;
Klosterkirche Maria Laach, Altar-
raum, Säule [Foto: Schroeder]

INHALTSVERZEICHNIS

VORBEMERKUNGEN: ZIEL DIESER DARSTELLUNG	3
1 KREISLAUF DER GESTEINE	4
1.1 Einführung.....	5
1.2 Abläufe im kurzen Überblick.....	5
2 MAGMATISCHE GESTEINE	6
2.1 Gesteinskundlicher Überblick.....	6
2.2 Tiefengesteine.....	9
2.3 Ganggesteine.....	10
2.4 Vulkanische Gesteine.....	12
3 SEDIMENTGESTEINE	14
3.1 Klastische Sedimentgesteine.....	14
3.2 Biogene Karbonat-Sedimentgesteine.....	19
A Flachwasserablagerungen mit Sandbänken.....	20
B Riffe: Von Organismen aufgebaute Strukturen.....	24
3.3 Chemisch gebildete Karbonat- und Sulfatgesteine... ..	28
3.4 Paläogeografie.....	30
3.5 Ablagerungen im Laufe der Erdgeschichte.....	32
3.6 Lagerung und Deformation von Sedimentgesteinen... ..	34
4 UMWANDLUNGSGESTEINE	38
4.1 Regional-Metamorphose.....	38
4.2 Kontakt-Metamorphose.....	41
5 WERKSTEINE IN ZEIT, IM RAUM UND IM KREISLAUF	42
LITERATUR	47
DANK	48
STICHWORTVERZEICHNIS	49



Abb. S 2.2 Sandstein-Skulpturierung
durch Verwitterung am Gradierwerk von
Bad Dürkheim (erbaut 1847); **H** - **Haardt-**
Sandstein, **RP** - **Roter Pfälzerwald Sand-**
stein; beide Trias [Foto: Schroeder]

Das hier präsentierte Material darf gerne zum privaten Gebrauch, für Unterricht und Lehre oder für steinbezogene Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden - natürlich unter Angabe der Quelle. Darüber hinaus liegen alle Rechte beim Autor (jhschroeder@tu-berlin.de)

VORBEMERKUNGEN: ZIEL DIESER DARSTELLUNG

Von einer Führung oder einem Spaziergang zu den Steinen in einer Stadt kehrt man mit einer Fülle von Beobachtungen und Eindrücken zurück: Diese Einführung/Auffrischung soll beim Sortieren helfen.

Die Vielzahl der Steine: Nicht nur wer anfängt, sich mit Steinen zu beschäftigen, sondern auch wer sich bereits Jahrzehnte lang mit ihnen beschäftigt, wird von der Vielfalt der Gesteine überwältigt. Selbst wenn man sich „nur“ auf die Naturwerksteine beschränkt, also auf solche Gesteine, die speziell abgebaut werden, um Blöcke oder Platten für unterschiedliche Bauzwecke zu gewinnen, ist die Zahl immens: Das Deutsche Naturstein-Archiv in Wunsiedel hat einen Bestand von über 6.000 Stein-Musterplatten; davon sind 1.500 aus Deutschland. Die Online-Version enthält 4.500 Bilder. Bescheidener, aber noch anspruchsvoll ist die Zahl in deutschen Städten (Schroeder, 2009 + 2013): 42 Autoren stellen in 31 Städten auf 32 kurzen - in zwei Stunden bewältigbaren - Routen jeweils 21 - 57, insgesamt 453 Steinsorten vor. Im Zentrum von Berlin auf der relativ kurzen Strecke vom Alexander Platz zum Großen Stern (Schroeder, 2006) sind es 233. Die Vielfalt - auch die einer einzelnen Stadt - kann man mit Hilfe des Kreislaufes ganz gut erfassen, ordnen und verstehen: Dabei soll diese Einführung helfen.

Das **begriffliche System** umfasst drei Elemente: Den **Kreislauf der Gesteine**, die **regionale Geologie** und - in enger Verbindung damit - die jeweilige **zeitliche Abfolge**, also das Alter.

Allgemeine Definition, Bezeichnungen und Namen der Gesteine: Ein Gestein besteht aus einem oder mehreren Mineralen, die durch ihre chemische Zusammensetzung und ihre Kristallstruktur charakterisiert sind, oder aber aus Bruchstücken von älteren Gesteinen.

Nach Mineralbestand, Gefüge und bisweilen auch Alter wird ein Gestein vom Geowissenschaftler benannt - jedoch gibt es unterschiedliche Systeme der Namensgebung (= Klassifikationen) für jede Gesteinsart. Die Fülle der Namen ist schon für den Fachmann verwirrend, noch mehr natürlich für den Laien.

Bei den Naturwerksteinen spielen die geowissenschaftlichen Namen oft nur eine untergeordnete Rolle: Techniker verwenden andere Namen und Händler wiederum andere, eben Handelsnamen, die sich im Laufe der Zeit ändern. Das Namens-Chaos wird noch dadurch gesteigert, dass Fachleute in unterschiedlichen Regionen und Ländern Begriffe unterschiedlich anwenden. Ein Beispiel: Der Geowissenschaftler begrenzt den Begriff „Marmor“ auf Kalksteine, die unter erhöhten Drücken und Temperaturen umgewandelt wurden; Techniker fassen zahlreiche Weichgesteine unter dem Begriff „Marmor“ zusammen, und in Italien nennt man sämtliche polierfähigen Weichgesteine „marmi“.

Handelsnamen enthalten häufig Information über das Herkunftsgebiet: „Carrara Marmor“ wird z.B. am gleichnamigen Ort in Norditalien gewonnen. Aber Vorsicht! Bisweilen werden bewusst andere Ortsnamen benutzt, entweder weil sie besser klingen oder damit nicht jeder gleich erkennt, welcher Stein angeboten bzw. verwendet wird.

In dieser Zusammenstellung ebenso wie in den Führern „Steine in deutschen Städten“ (Schroeder, 2009 + 2013) werden so weit wie möglich die Bezeichnungen der zur Zeit gültigen europäischen und damit auch deutschen Norm (DIN EN 12440, Ausgabe Januar 2001) benutzt. Außerdem werden Gesteinstyp, Herkunft und Alter aufgeführt.

1 DER KREISLAUF DER GESTEINE

1.1 Einführung

Der Kreislauf verdeutlicht Bildungsprozesse und deren Bedingungen, entstehende Gesteine und deren Wechselbeziehungen; er erfasst die dabei wichtigen dynamischen Veränderungen der Erde.

Folgende allgemeine Kategorien werden unterschieden (eingesetzte Schrifttypen wie in Abb. 1.1):

--- das **Material**, das gebildet, verändert oder zerstört wird: Vor allem Gesteine, zusammengesetzt aus Mineralen, die ihrerseits aus chemischen Elementen bzw. deren Verbindungen aufgebaut sind, daneben Schmelzen oder Lösungen mit aktivierbaren Bestandteilen;

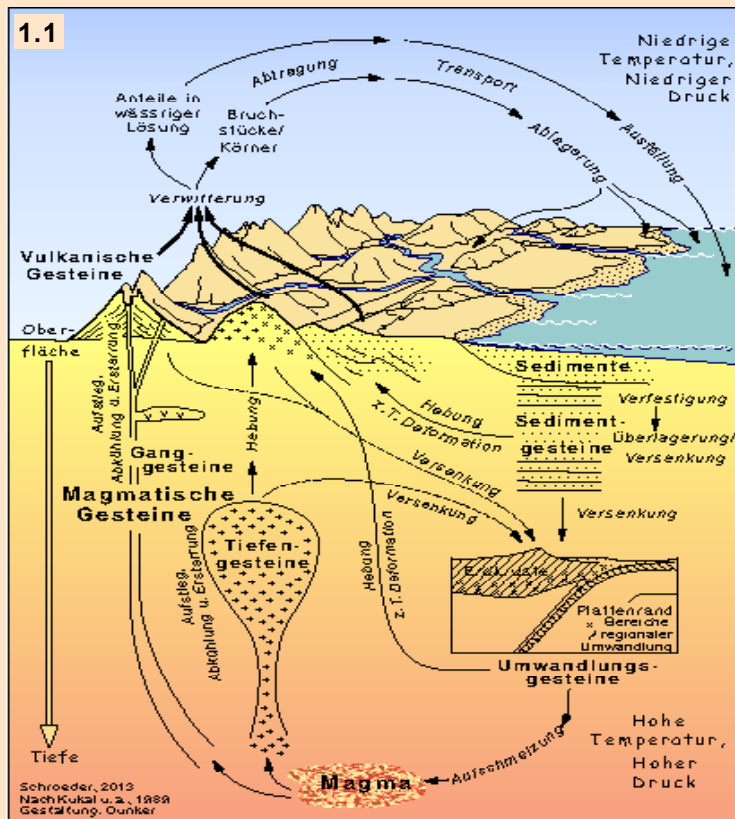
--- die **Prozesse** oder Vorgänge, die das Material verändern, darunter Abkühlung oder Aufheizung, Hebung oder Senkung, Verwitterung oder Ablagerung;

--- die **physikalischen und chemischen Bedingungen**, unter denen diese Prozesse ablaufen, wie Druck, Temperatur, Säuregrad des beteiligten Wassers;

--- die **Bereiche**, die Räume im Erdinneren oder an der Erdoberfläche, in denen das Material von diesen Prozessen erfasst und verändert wird, charakterisiert z.B. durch Tiefenlage, Morphologie oder Wasserbedeckung.

Abb. 1.1 Der Kreislauf der Gesteine zeigt deren **Entstehungen und Umwandlungen** sowie das betroffene **Material**, die ablaufenden **Prozesse** und die dabei vorherrschenden **Bedingungen**.

[Nach Kukul u.a. 1989; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]



1.2 Abläufe im kurzen Überblick

Der Kreislauf beginnt in Tiefen von mehreren Kilometern in der Erdkruste bis ca. 200 km im oberen Erdmantel (Abb. 1.1, Mitte, unten). Unter hohen Temperaturen und Drücken bildet sich dort eine **Schmelze** von mehr oder weniger zäher breiiger Konsistenz, das **Magma**.

Beim Aufstieg in geringere Tiefen, also in Bereiche mit geringerem Druck und niedrigerer Temperatur, erstarrt es allmählich. Je nach Zusammensetzung und Abkühlungsgeschwindigkeit werden verschiedene **Minerale** in gesetzmäßigen Abfolgen als Kristalle ausgeschieden und bilden so **Gesteine** mit definierter Zusammensetzung und charakteristischem Gefüge. Diese Erstarrungs- oder magmatischen Gesteine (= Magmatite) können sich in der Tiefe bilden als **Tiefengesteine** = Plutonite (im Folgenden Abschnitt 2.1; z.B. Granit), auf dem Weg nach oben als **Ganggesteine** (2.2) oder an der Oberfläche als **Vulkanische Gesteine** = Vulkanite (2.3; z.B. Basalte, Tuffe). Bei letzteren kann die Schmelze (jetzt Lava genannt) ausfließen: **Ergussgesteine** entstehen. Bei explosivem Ausbruch werden Körner = Klasten = Bruchstücke ausgeworfen und abgelagert: **Pyroklastische Gesteine** entstehen.

Infolge von **Hebung oder Abtragung** überlagernder Gesteine gelangen Tiefengesteine nach Zehnern oder Hunderten von Millionen Jahren an die Oberfläche. Dadurch entfernen sich die Minerale von ihren Bildungsbedingungen und werden instabil. Außerdem werden bei ihnen dann wie bei den vulkanischen Gesteinen die Einflüsse von Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre wirksam: **Gesteine verwittern**. Dabei werden sie durch **physikalische, chemische oder biologische Prozesse in ihre Bestandteile zerlegt**. Manches geht in Lösung, anderes bleibt je nach dem Grad mechanischer Zerkleinerung in Form unterschiedlich großer Körner übrig. Häufig werden Bestandteile von Wind, Wasser oder Eis aufgenommen, transportiert und an anderer Stelle als

Lockermaterial = Sediment abgelagert. Dieses wird dann durch verschiedene physikalische und chemische Prozesse verfestigt: Es bilden sich **Ablagerungs- = Sedimentgesteine** (3; z.B. Sand- und Kalksteine).

Diese können mit der Zeit von weiteren Sedimenten überlagert, versenkt und später an die Oberfläche gehoben werden und dort erneut verwittern. Ihre Bestandteile können abtransportiert, abgelagert und verfestigt werden. So funktioniert ein kurzer relativ Oberflächen-naher Teil-Kreislauf. Jedes Gestein kann in Zeiträumen von Tausenden bis zu mehreren hundert Millionen Jahren in unterschiedliche Tiefen versenkt werden.

In Tiefen von etwa 20 - 80 km wird infolge von steigendem Druck und zunehmender Temperatur das Gestein umgewandelt oder teilweise aufgeschmolzen. Je nach Druck- und Temperaturverhältnissen sind diese Veränderungen unterschiedlich: Minerale werden umgewandelt, neue entstehen, und auch das Gefüge wird verändert. Diese Umwandlungen werden als Metamorphose bezeichnet: Es entstehen **Umwandlungsgesteine** (Metamorphe Gesteine = Metamorphite, 4; z.B. Gneise oder Marmore. Auch diese Gesteine können im Laufe der Zeit an die Oberfläche gehoben werden, dort verwittern und den Kreislauf erneut durchlaufen.

Wichtig ist die Beachtung der **zeitlichen Dimension dieser Abläufe**: Die geschilderten Prozesse des Kreislaufes laufen wahrscheinlich seit der Konsolidierung der Erde als Planet immer neu ab und sind im Prinzip immer ähnlich. Sie sind gut dokumentiert durch die jeweils entstandenen Gesteine mindestens seit 500 Millionen Jahren. Die Prozesse laufen jedoch nicht alle überall auf der Erde ab, sondern jeweils in geeigneten Bereichen, und auch nicht gleichzeitig, sondern in verschiedenen erdgeschichtlichen Perioden.

2 MAGMATISCHE GESTEINE

2.1 Gesteinskundlicher Überblick

Magmatische Gesteine entstehen, wenn das Magma (=die Gesteinsschmelze) aus den Tiefen in Richtung Erdoberfläche aufsteigt und beim Aufstieg abkühlt. Dabei **kristallisieren Minerale** (Tab. 2.1.1) aus der Schmelze aus, und zwar in zwei **gesetzmäßigen Abfolgen**, einer für dunkle, die andere für helle Gemengteile. Abb. 2.1.2 zeigt diese beiden Reihen und bietet Anhaltswerte für die jeweils herrschenden Temperaturen.

Die zuerst entstehenden Minerale entziehen dem Magma bestimmte chemische Bestandteile; diese stehen dann für spätgebildete Minerale nicht mehr zur Verfügung. Andere Elemente

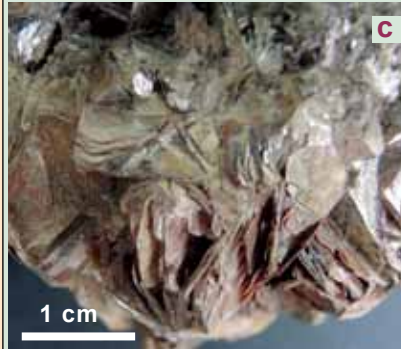
Tab. 2.1.1 Häufigste Minerale in magmatischen Gesteinen

[Zusammenstellung: Schroeder aus diversen Quellen]

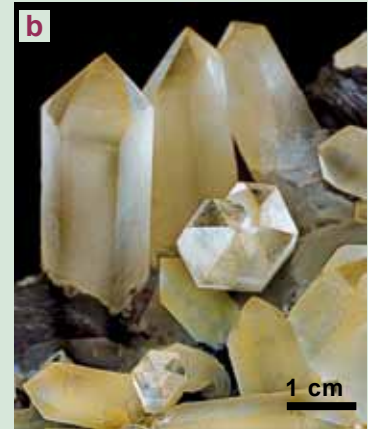
	Mineral	Chemische Zusammensetzung
Dunkle Gemengteile	<i>Olivin</i>	$(\text{Mg, Fe})_2 \text{SiO}_4$
	<i>Pyroxen (Augit)</i>	$(\text{Mg, Fe, Ca, Al})_2 \text{Si}_2\text{O}_6$
	<i>Amphibol (Hornblende)</i>	$\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg, Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_5 [(\text{OH}, \text{F})_2](\text{Si}, \text{Al})_2\text{Si}_6\text{O}_{22}$
	<i>Biotit (Dunkelglimmer)</i>	$\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{Si}_3\text{Al})_8\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$
Helle Gemengteile	<i>Muskovit (Hellglimmer)</i>	$\text{KAi}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$
	<i>Plagioklas (Kalzium- und Natrium-Feldspat)</i>	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
		$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
	<i>Orthoklas (Kalium-Feldspat)</i>	KAlSi_3O_8
	<i>Quarz</i>	SiO_2

Wenn in Klammern mehrere Elemente „(X,Y)“ angegeben sind, können sie in unterschiedlichen Anteilen vorkommen.

Abb. 2.1.1 Beispiele für häufige gesteinsbildende Minerale



a Orthoklas, Feldspat;
Herkunft: Striegau, Polen
b Quarz, Herkunft: Jinlong, China
c Muskovit, Hellglimmer
mit blättrigen Kristallen;
Herkunft: Brasilien (?)



Mineralstufen aus den Mineralogischen Sammlungen der Technischen Universität Berlin, Kustodin: S. Herting-Agthe

[Fotos: a + c Schroeder, 2015; b Kleeberg, 2008]

werden dagegen relativ angereichert. So werden unterschiedliche Minerale und somit Gesteine unterschiedlicher Zusammensetzung gebildet.

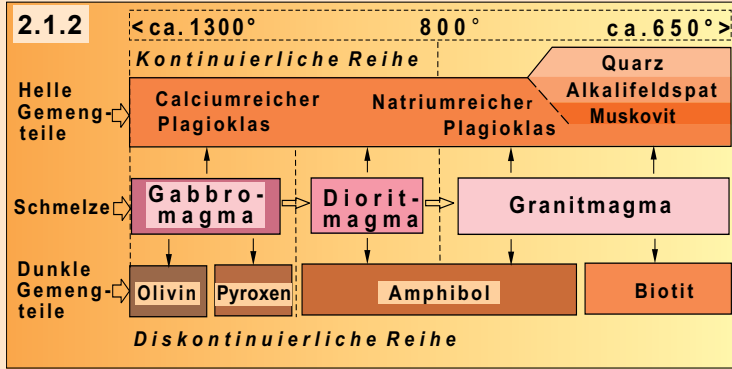


Abb. 2.1.2 Kristallisationsabfolgen von hellen und dunklen Gemengteilen sowie Entwicklung des Magmas während der Abkühlung.
[Beitrag: Schroeder, nach Brinkmann, 1980; Gestaltung: Dunker]

Die **Benennung (= Klassifikation)** der magmatischen Gesteine beruht vor allem auf der **Mineralzusammensetzung**, speziell auf den Anteilen von Quarz, Alkalifeldspäten, Plagioklasen und Feldspatvertretern (= eine Mineralgruppe, die den Feldspäten ähnelt, aber weniger SiO_2 enthält). Das Streckeisen-Diagramm (Abb. 2.1.3) zeigt anschaulich die Klassifikation.

Abb. 2.1.3 Streckeisen-Diagramm zur Klassifizierung von magmatischen Gesteinen:

Darstellung von **Plutoniten** und **Vulkaniten** auf Basis der quantitativen Proportionen der Minerale Quarz, Alkali-Feldspäte und Plagioklasse sowie Feldspatvertreter.

Bei der Zuordnung eines Gesteins werden nur diese **hellen Gemengteile** berücksichtigt; die Summe ihrer prozentualen Anteile im Gesamtgestein wird zur Berechnung mit 100 % angesetzt; die Einzelanteile werden sodann auf dieser Basis umgerechnet; mit den erhaltenen Werten wird ein Punkt in dem Diagramm und somit der Name des Gesteins bestimmt. Die hier wiedergegebene Version ist etwas vereinfacht: Einzelne Felder können noch weiter unterteilt werden.

Die Zuordnung eines Gesteins setzt sorgfältige Analysen voraus, die nur vom mineralogisch versierten Fachmann zu erbringen sind. Das Diagramm wird hier wiedergegeben, weil diese Nomenklatur in Tabellen, Texten und in den einschlägigen Karteien und Datenbanken benutzt wird.

[Nach Reinsch, 1991; Beitrag: Schroeder; Zeichnung: Dunker]

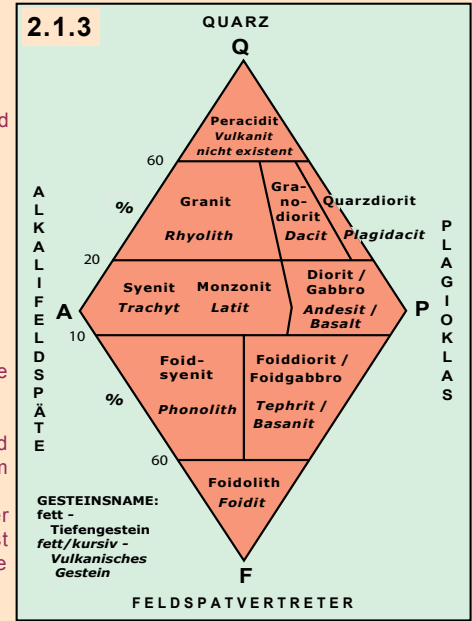
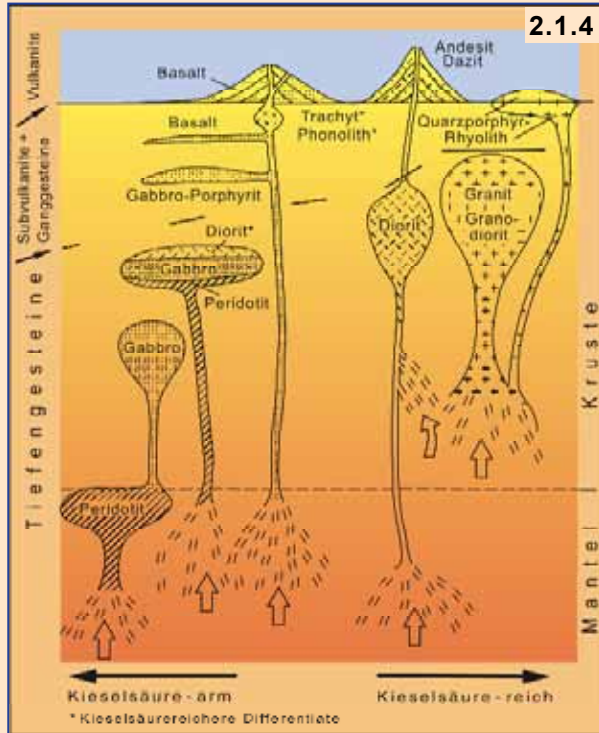
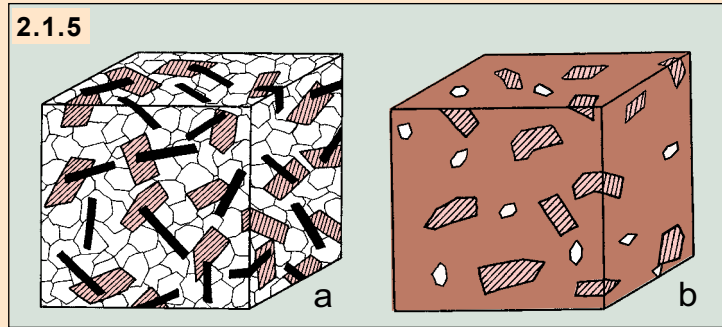


Abb. 2.1.4 Bildung verschiedener Typen von Tiefengesteinen, Ganggesteinen und vulkanischen Gesteinen in unterschiedlichen Tiefen und aus Magmen mit unterschiedlichen Kieselsäure-Gehalten (stark vereinfacht, nicht maßstäblich) [Beitrag: Franz & Schroeder; Gestaltung: Dunker]



Neben der Mineralzusammensetzung ist das **Gefüge** ein wichtiges Merkmal des Gesteins. Dieser Begriff umfasst die **Kristall- oder Korngrößen** der Bestandteile, deren **Form** und **räumliche Anordnung** innerhalb des Gesteins sowie die **Wechselbeziehung der Bestandteile untereinander**.



2.1.5 Typische Gefüge von magmatischen Gesteinen

- a Gleichkörniges Gefüge** (in Tiefengesteinen): Kristalle unterschiedlicher Minerale sind etwa gleich groß und gleichmäßig verteilt, aber ihre Kristallformen sind unterschiedlich entwickelt: Die zuerst gebildeten am vollständigsten, die späteren immer weniger deutlich; Abfolge hier: Schwarz - rosa/schraffiert - weiß [nach Niggli, 1948]
- b Porphyrisches Gefüge** (in Gang- und vulkanischen Gesteinen): Einzelne früh gebildete relativ große Kristalle (rosa schraffiert und weiß) „schwimmen“ in einer (mikro-)kristallinen oder glasigen Grundmasse (braun) [nach Schumann, 1968]

[Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]

2.2 Tiefengesteine

Steckbrief: Tiefengesteine = Plutonite

Bildung: Die Gesteinsschmelze = das Magma steigt aus großen Tiefen allmählich auf in Bereiche der Erdkruste mit geringeren Temperaturen. Dabei bilden sich Gesteine durch Auskristallisation der Minerale.

Der Temperaturbereich der Auskristallisation ist für jedes Mineral unterschiedlich und charakteristisch. Als erstes bilden sich die Minerale mit hoher, dann - in regelhafter Folge - die mit immer niedrigerer Kristallisationstemperatur. Die ersten Kristalle schwimmen frei in der Schmelze und können ihre vollständige Form entwickeln. Die folgenden werden durch die bereits vorhandenen Kristalle bei der Ausbildung ihrer Formen behindert; die letzten füllen nur noch verbliebene Lücken: Die Vollständigkeit der jeweiligen Kristallformen zeigt also die Abfolge in der Bildung der beteiligten Minerale.

Zusammensetzung: Variabel je nach Ausgangsschmelze und dem Temperaturbereich der Erstarrung (s. Abb. 2.2.3).

Gefüge: Kristalle im Größenbereich von Zentimetern bis Millimetern bilden ein mehr oder weniger gleichkörniges Mosaik ohne bevorzugte Orientierung (Abb. 2.2.2 a + b).

Größe: Die entstehenden Gesteinskörper (= Plutone) haben im Idealfall Birnen- bis Ballonform; diese wird meistens durch die lokalen geologischen Verhältnisse deutlich modifiziert. Ihre Dimensionen reichen von Kilometern bis wenigen Zehner Kilometern.

Tiefengesteine gelangen durch spätere Hebungen und/oder infolge von Abtragungen des Deckgebirges an die Oberfläche.



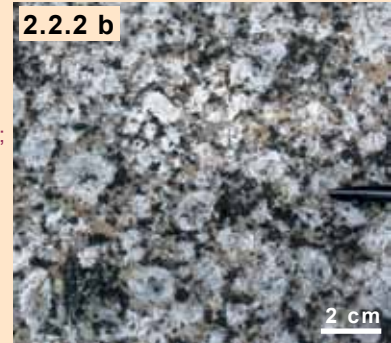
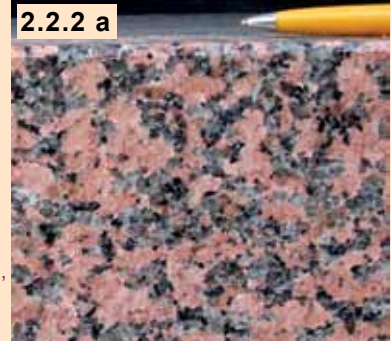
<< Abb. 2.2.1 Tiefengesteine im Kreislauf der Gesteine [Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker & Schroeder]

Abb. 2.2.2 Nahaufnahmen von Tiefengesteinen

a *Balmoral* >> *Granit* (Präkambrium, Finnland); Sinzig, Bachovenstr. 2, Fassade

b *Kösseine* >> *Granit* (Ober-Karbon, Fichtelgebirge, Bayern); Berlin, Campus der Technischen Universität, Pflaster

[Fotos: Schroeder]



2.3.1



Beitrag: Schroeder;
Gestaltung: Dunker & Schroeder

2.3 Ganggesteine

Steckbrief: Ganggesteine

Bildung: Bei der Entstehung von Tiefengesteinen entsteht eine Restschmelze, die oft mit Wasser sowie seltenen und leichtflüchtigen Bestandteilen angereichert ist. Sie steigt auf und kühlt relativ schnell ab; in Gängen, Spalten oder Klüften innerhalb oder oberhalb des Tiefengesteins, aber unterhalb von vulkanischen Gesteinen werden Ganggesteine gebildet.

Zusammensetzung / Gefüge: Bezüglich der Mineralzusammensetzung als auch des Gefüges stehen Ganggesteine zwischen Tiefen- und vulkanischen Gesteinen. Sie können Elemente von beiden aufweisen.

Als **Gefüge** kommen feinkristalline Gitterstrukturen, grobe Kristalle als Einsprenglinge in deutlich feinerer kristalliner Grundmasse (z.B. Granitporphyr) oder als grobkristalline Gesteine (Pegmatite) vor.

Größe: Die Gänge haben wesentlich geringere Ausmaße als die Komplexe von Tiefen- oder vulkanischen Gesteinen; deshalb wurden/werden sie relativ selten als Naturwerksteine gewonnen und wo sie gewonnen werden, sind die Vorräte begrenzt.

Varianten: Stau-, Quell- und Stoßkuppen werden nahe der Oberfläche gebildet; sie markieren den Übergang zu den vulkanischen Gesteinen.

<< Abb. 2.3.1 Ganggesteine im Kreislauf der Gesteine

Abb. 2.3.2 Nahaufnahmen von Ganggesteinen

a Ochsenkopf

Proterobas
(Mikrogabbro, Perm, Bayern); Hof, Karolinenstr. 22 - 24, Blumentöpfe; bemerkenswert die Gitterstruktur von **Plagioklas-Leisten**
[Foto: G. Schirmeister]

2.3.2 a



b Beuchaer

Porphy
(Mikrogranit, U Perm, Sachsen); Berlin, Gendarmenmarkt, Pflaster mit Einsprenglingen von **Feldspäten** - z.T. als zonierte und verzwillingte Kristalle - in Grundmasse; die grüne Färbung ist auf Chlorit aus Umwandlung von Pyroxen, die rote auf Hämatit zurückzuführen. [Foto: Schroeder]

2.3.2 b



Zeitliche Abfolgen von magmatischen Gesteinen

In bestimmten Regionen können im Laufe der Zeit immer wieder verschiedene magmatische Gesteine gebildet werden; ein klassisches Beispiel ist die Oberlausitz mit ihren Tiefen- und Ganggesteinen.

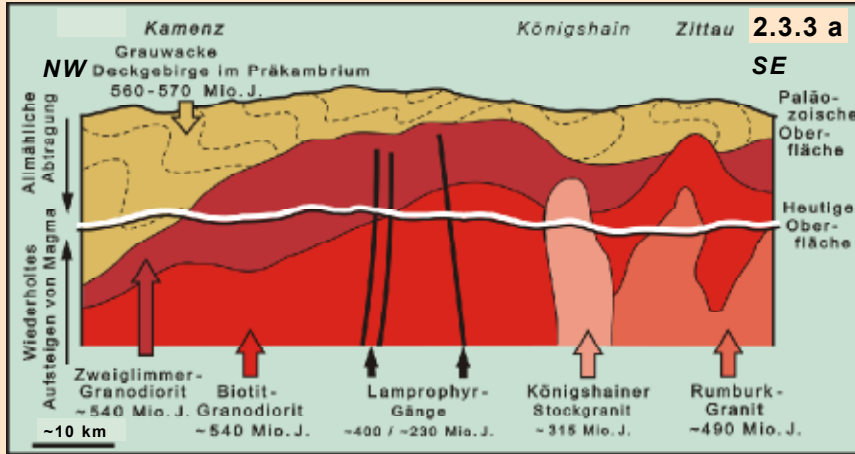


Abb. 2.3.3 a Verteilung und Abfolge magmatischer Gesteine in der Oberlausitz: Der schematisierte Profilschnitt zeigt beispielhaft, wie ein Gesteinskomplex infolge des Aufdringens von Magmen verschiedener Alter und Zusammensetzungen im Lauf der Zeit vielfältiger wird. An der jeweiligen Oberfläche werden durch allmähliche Abtragung immer tiefere Lagen der Gesteine angeschnitten und somit zugänglich gemacht. Beide Prozesse bestimmen die Verbreitung von und den Zugang zu derartigen Naturwerksteinen, sind also wichtig für Erkundung und Gewinnung (Vertikalmaßstab in der Größenordnung von km).

[Nach Wagenbreth & Steiner (1982) mit Altersdatierungen von Hammer (1999), aktualisiert nach frdl. pers. Mitt. von Eidam (2005) und von W. Lange; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]

Abb.

2.3.3 b

Lausitzer Granodiorit, (Kambrium): Demitz-Thumitz, Infoplatz, Block mit Spaltfläche

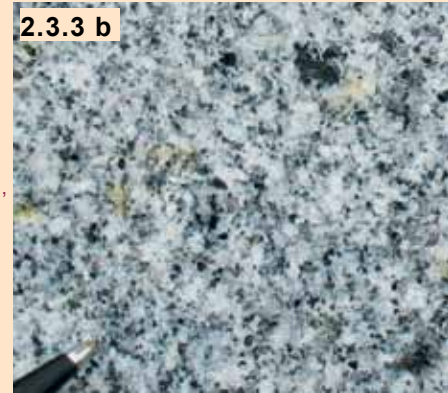
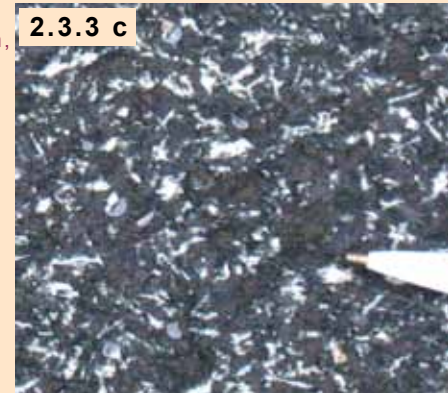


Abb. 2.2.3 c

Lausitzer Lamprophyr, Mikrogabbro mit Plagioklas (Devon): Berlin, Techn. Univ., Campus, Pflaster [Fotos: Schroeder]



2.4 Vulkanische Gesteine

Steckbrief:

Vulkanische Gesteine = Vulkanite

Bildung: Das Magma kann in zweierlei Formen zur Erdoberfläche gelangen:

1. In flüssiger Form als „Lava“: Lava breitet sich mehr oder weniger leicht und weit aus, je nach ihrer Zähigkeit; diese hängt von ihrer Zusammensetzung, insbesondere dem Anteil flüchtiger Bestandteile, ab. Je nach Austrittsform - Spalte oder Schlot - entstehen unterschiedliche Formen: Decken aus Schichten oder kegelförmige Schildvulkane.

Gefüge: Je nach Zusammensetzung und Abkühlungsgeschwindigkeit der Lava wird das entstehende Gestein einzelne größere Kristalle als Einsprenglinge enthalten, die in einer feinen Grundmasse schwimmen (porphyrisches Gefüge). Es kann aber auch ausschließlich aus mehr oder weniger feiner kristalliner Grundmasse oder (nicht kristallinem) Glas bestehen. Gesteine können schlierenförmige Fließgefüge der Lava aufweisen oder Blasen, in denen sich leicht-flüchtige Bestandteile sammelten.

2. In Form von Körnern bzw. Bruchstücken = „Pyroklasten“ wie Asche bzw. Staub (bis 2 mm Größe), Lapilli (2 mm - 6 cm) oder Bomben (> 6 cm). Diese werden bis in 50 km Höhe ausgeworfen und entweder um den Schlot als Schlackenkegel oder weiter entfernt als Sediment-Schicht abgelagert. Die Körner werden in mikrokristalliner Grundmasse abgelagert und später zementiert, bei großer Hitze miteinander verschweißt.

Beide Formen können sich an einem Ort mit der Zeit abwechseln (und bilden dann Schichtvulkane) oder aber sich seitlich verzahnen.

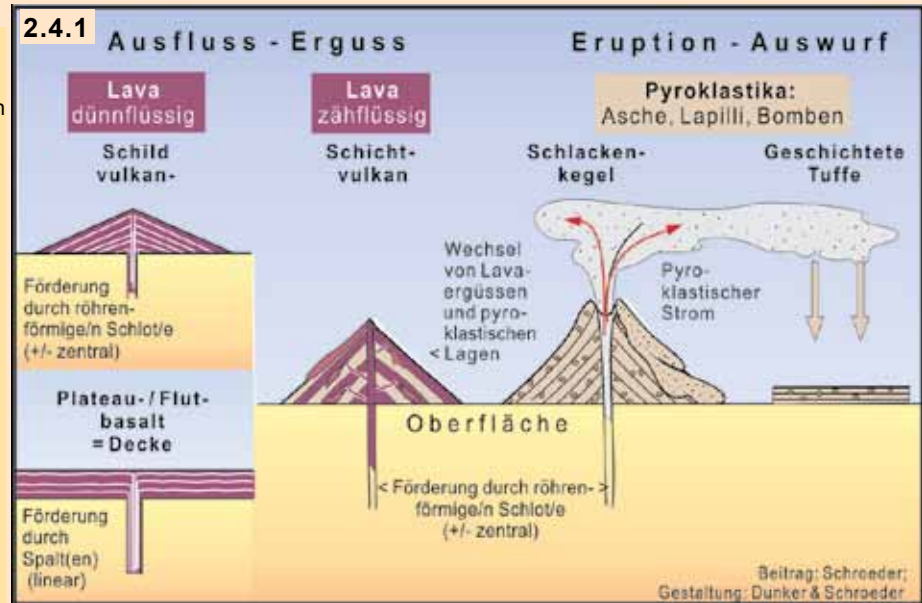
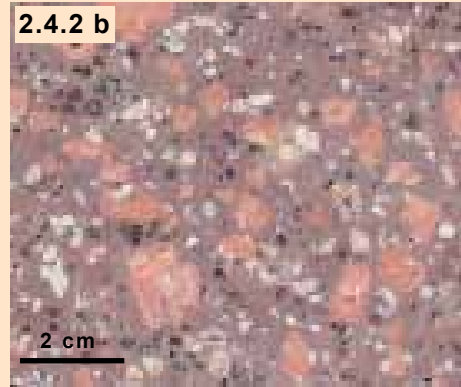


Abb. 2.4.1 Vulkanische Gesteine im Kreislauf der Gesteine



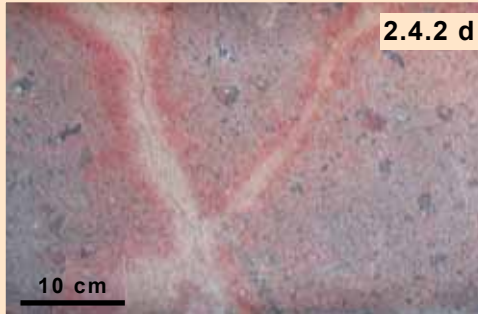
2.4.2 a



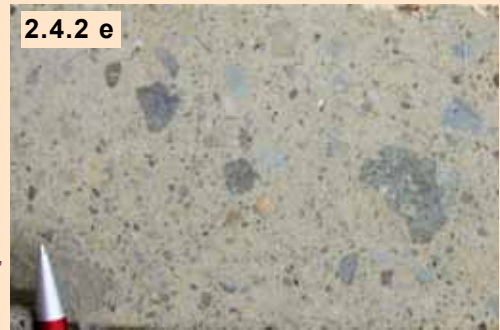
2.4.2 b



2.4.2 c



2.4.2 d



2.4.2 e

**Abb. 2.4.2: Vulkanische Gesteine
in der Nahaufnahme**

a Hessischer Olivindiabas (Devon, Lahn-Dill Kreis, Hessen); Tübingen, Lange Gasse 14, Fassade

b Löbejüner Porphyr mit typischem Gefüge (Karbon/Perm, Sachsen-Anhalt); Muster

c Rheinische Basaltlava mit gestreckten Blasenzügen (Quartär, Rheinland-Pfalz); Berlin, Str. d. 17. Juni 135, Sockel

d Rochlitzer Porphyrtuff (Perm, Sachsen); Berlin, Friedrichstr. 180 - 184, Fassade

e Ettringer Tuff - Phonolith (Quartär, Osteifel, Rheinland Pfalz); Mainz, Ludwigstr. 8 - 10; Fenstereinfassung [Fotos: Schroeder]

3 SEDIMENTGESTEINE

3.1 Klastische Sedimentgesteine = Klastite

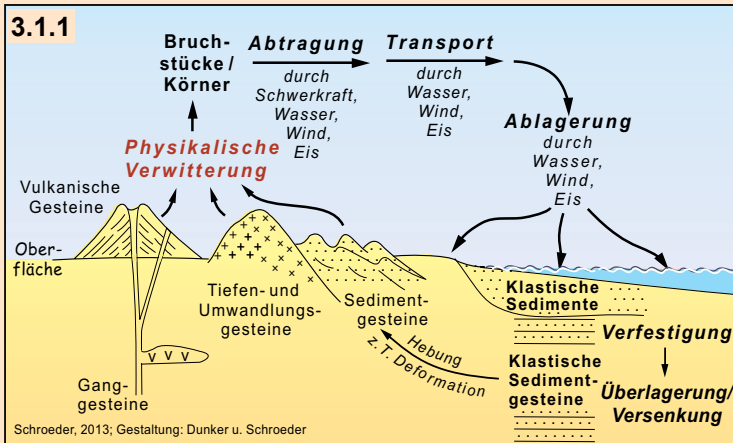


Abb. 3.1.1 Klastische Sedimentgesteine im Kreislauf der Gesteine



Abb. 3.1.2 Klastisches Sediment = Lockermaterial = Sand; hier Strandsand von der Ostsee. Die Körner variieren nach Größe, Form (u.a. Rundungsgrad) und Zusammensetzung

[Foto: Schroeder]

Steckbrief: Klastische Sedimentgesteine = Klastite

Bildung: An der Erdoberfläche verwittern alle Gesteine. Dabei werden sie z.T. mechanisch zerkleinert (z.B. durch Frostsprengung), und es entstehen Bruchstücke (= „Körner“) in unterschiedlicher Größe. Diese werden von Schwerkraft, Wasser oder Wind abgetragen. Nimmt die Energie des Transportmediums - also die Geschwindigkeit - ab, wird das Material abgelagert, und zwar auf dem Land, z.B. in Wüsten und Flussstätern, oder im Meer vom Strand bis zur Tiefsee.

Zusammensetzung: Transportweiten sind entscheidend für die **Korngrößen**: Im oder nahe dem Gebirge gibt es Meter-große Gesteinsblöcke, im Meer weit vom Land entfernt dagegen Tonpartikel von tausendstel Millimetern Größe. Dazwischen liegt der Sand (0,063 - 2 mm) wie er in Flüssen, am Strand oder in Dünen abgelagert wird. Die **Kornform** - von eckig bis gut gerundet - wird bestimmt von Material, Transportart und Transportweite.

Der **Mineral- bzw. Gesteinsgehalt** hängt vom Ausgangsmaterial ab, zum einen von dessen Zusammensetzung, zum anderen vom Verhalten der verschiedenen Komponenten gegenüber Verwitterung und Transport.

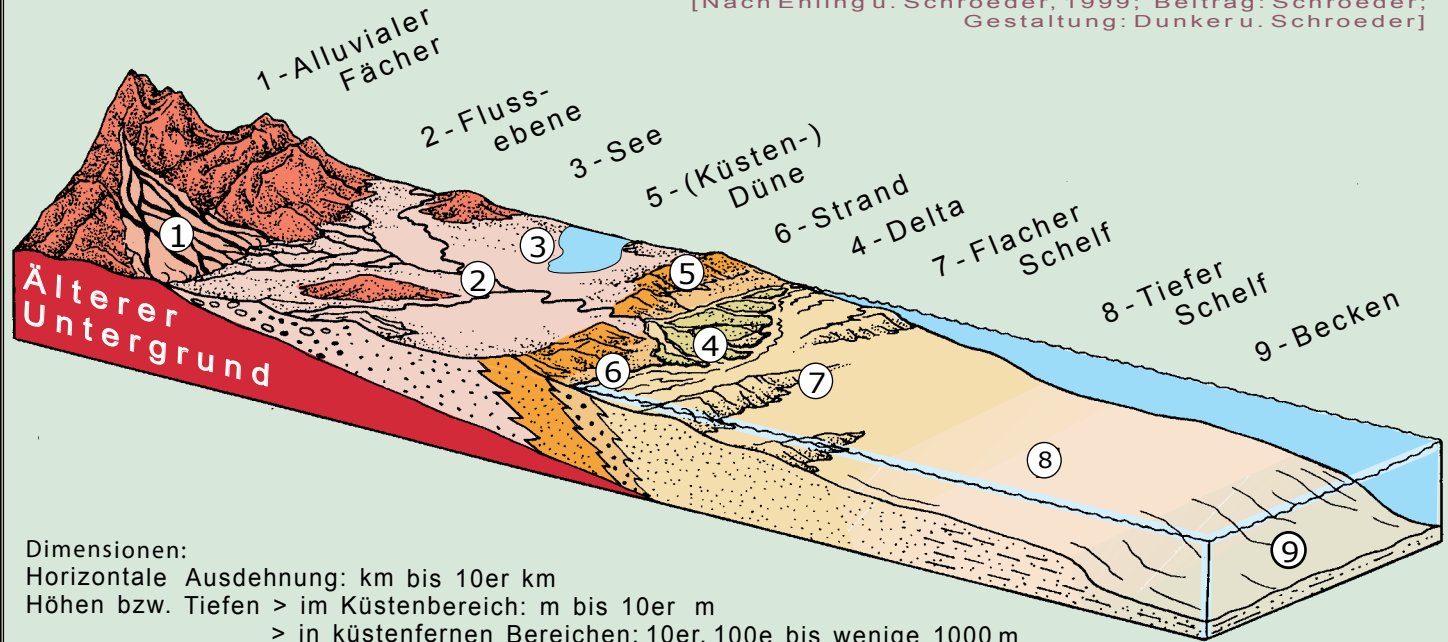
Sedimentstrukturen wie Schichtungen - horizontal oder schräg -, Rip-peln, Rinnen - eingeschnitten in die Unterlage und verfüllt -, aber auch Spuren oder Grabgänge von Organismen in unterschiedlichen Kombinationen charakterisieren die Gesteine. Soweit der Ablagerungsbe-reich einen Lebensraum für Organismen bietet, können diese als **Fossilien** im Klastit erhalten bleiben.

Bindung: Zum festen Gestein werden die lockeren Körner durch Kompaktion, d.h. Zusammenpressung, oder durch Zementierung: Kristalle unterschiedlicher Minerale werden in den Hohlräumen (= „Poren“) zwischen den Körnern ausgefällt und binden diese (s. u.: „Diagenese“)

3.1.3

Abb. 3.1.3 Ablagerungsbereiche klastischer Sedimente auf dem Land, entlang der Küste und im Meer

[Nach Ehling u. Schroeder, 1999; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker u. Schroeder]



Sedimentstrukturen

Abb. 3.1.4 Sedimentstrukturen werden während oder unmittelbar nach der Ablagerung von Lockermaterial - sowohl klastischem wie karbonatischem - gebildet, und zwar physikalisch, z.B. durch Strömungen, oder biologisch durch Organismen; sie bleiben bei Verfestigung im Gestein erhalten. Häufig beobachtete Beispiele sind:

a Horizontale Schichtung infolge Ablagerungspausen oder Wechsel des zugeführten Materials; Schichten können hundertstel Millimeter bis zu Metern dick sein.
b Asymmetrische Rippeln mit Schrägschichtungen, gebildet durch gerichtete Strömungen; Höhen und Längen von mm bis m; Formen sehr vielfältig hineingeschnitten und mit schräg geschichtetem Sediment verfüllt; Tiefe: mm bis m
[Beitrag: Schroeder;

Grafiken: Dunker]

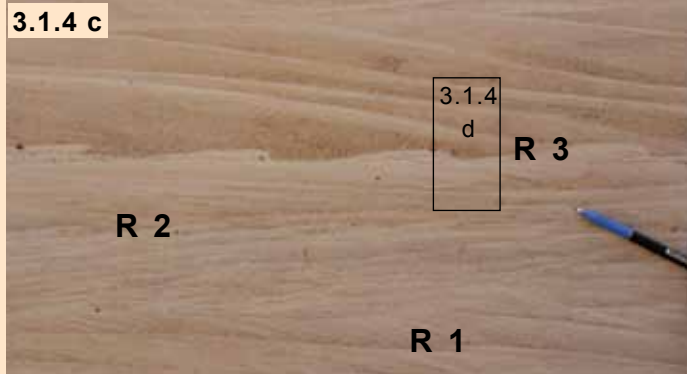
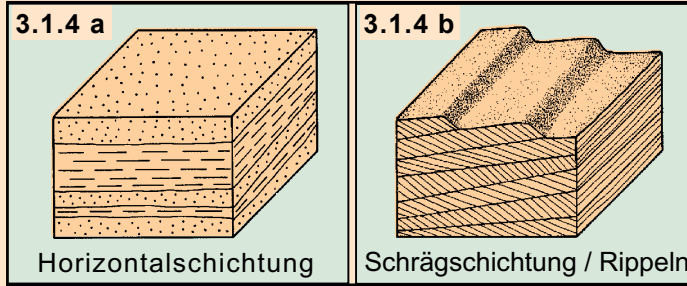


Abb. 3.1.4 c Feine Schrägschichtung, z.T. mit Rippeln (R 1 - 3) an der Schichtoberfläche im **Nebraer Sandstein** (U Trias, Sachsen-Anhalt): Senkrechter Schnitt durch einen Block in der Fassade der Alten Nationalgalerie Berlin
[Foto: Schroeder]

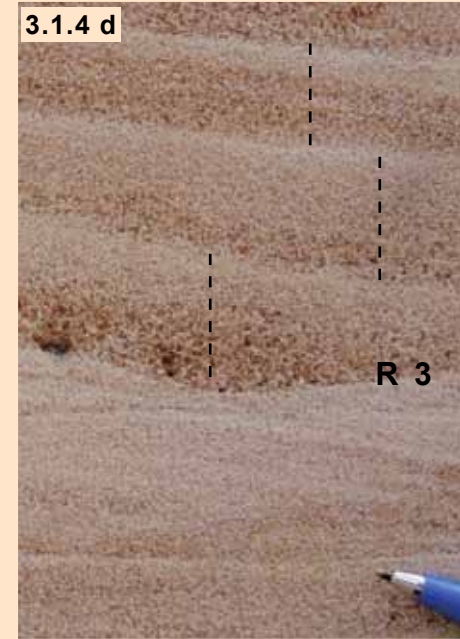


Abb. 3.1.4 d Detail aus dem **Nebraer Sandstein** (Abb. 3.1.4 c): **Feinschichtung** mit jeweils aufwärts abnehmender Korngröße als Resultat rapide abnehmender Transportenergie.

[Foto: Schroeder]

Abb. 3.1.5 a Erosionsrinnen von strömendem Wasser in das lockere Sediment hineingeschnitten und mit schräg geschichtetem Sediment verfüllt; Tiefe: mm bis m.

[Beitrag: Schroeder; Grafik: Dunker]

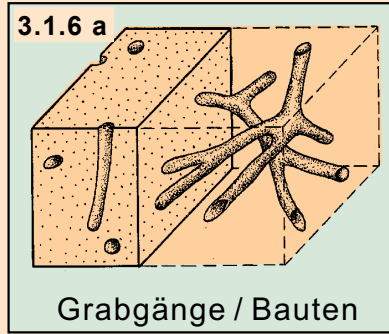
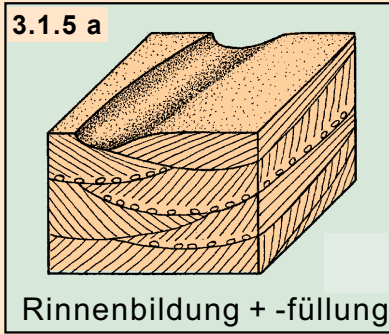


Abb. 3.1.6 a Grabgang z.B. eines Krebstieres; Röhrendurchmesser mm - dm, Längen cm - dm; rechts: Gänge dreidimensional im Sediment, links: Bilder auf den Schnittflächen eines Sediment- bzw. Gesteinsblockes. [a Nach Lindholm, 1987; a - c: Beitrag: Schroeder; Grafik Dunker]

17

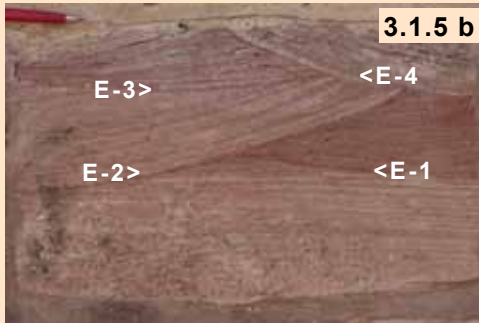


Abb. 3.1.5 b Erosionsrinnen (E-1 bis E-4) im Thüringer Buntsandstein (U Trias) Schmalkalden, Kirchhof 12, Sockel; Vertikalschnitt durch einen Block [Foto: Schroeder]

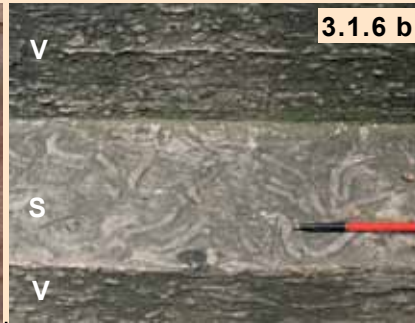
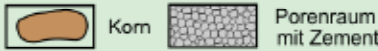
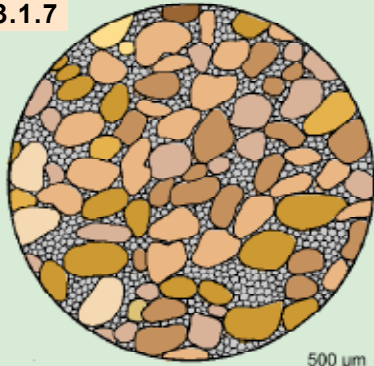


Abb. 3.1.6 b Treppe aus Ihrler Grünsandstein mit Weidespuren (O Kreide, Bayern); Regensburg, Dom, Seiteneingang; S - Schicht- = Trittpläche,



Abb. 3.1.6 c Grabgänge im Reinhardtsdorfer Sandstein (O Kreide, Sachsen) Berlin, Konzerthaus, Fassade, Vertikalschnitt; parallele vertikale Furchen und Rücken sind Teil der Oberflächenbearbeitung, hier des Scharrierens. [Foto: Schroeder]

3.1.7



<< **Abb. 3.1.7 Korngefüge von klastischen Sedimentgesteinen:** Die Körner (= Partikel = Mineral-/Gesteinsbruchstücke) bilden ein Korngerüst mit Hohlräume zwischen den Körnern (= „Poren“). Im Laufe der Verfestigung werden diese durch unterschiedliche Kristalle (= Zemente bzw. Bindemittel) ganz oder teilweise gefüllt sein. [Nach Reinsch, 1995;

Beitrag: Schroeder;
Gestaltung: Dunker]

Nach der Ablagerung folgt die **Diagenese**, eine Abfolge unterschiedlicher Prozesse, die in dem gesamten Zeitraum von der Ablagerung bis hin zur Verwitterung wirksam sind. Der wichtigste Prozess ist die **Verfestigung**: Das Lockermaterial wird zum festen Gestein. Bei klastischen Sedimentgesteinen spielen zwei Hauptrollen:

-- **Die Kompaktion:** Das Zusammendrücken der Kornpakete allein aufgrund des Auflast-Gewichtes durch später darüber abgelagerte Schichten von Lockermaterial. Infolgedessen rücken die Körner nach und nach immer dichter zusammen, werden zum Teil auch zerbrochen; dabei ist der wichtigste Effekt, dass der Porenraum (= der Hohlraum zwischen den Körnern) kleiner wird.

-- **Die Zementation:** Das Wachsen von Kristallen in Hohlräumen; da-

3.1.8



Abb. 3.1.8 Nahaufnahme des klastischen Sedimentgesteins Isar Nagelfluh (Quartär, Bayern; Aufschlussfoto), ein relativ grobes Sediment (= Konglomerat) mit Komponenten unterschiedlicher Zusammensetzung, Größe und Rundung. [Foto: Schroeder]

für liefert das Porenwasser die gelösten Komponenten an. Die Zementkristalle verbinden die Körner - sie sind das Bindemittel. Je nach Zusammensetzung des Porenwassers kann das Bindemittel aus Quarz, Kalzit (Kalziumkarbonat) oder aus verschiedenen Tonmineralen bestehen. Art des Bindemittels bestimmen Härte und Widerstandsfähigkeit der Sandsteine; damit sind sie als Werkstein unterschiedlich gut brauchbar. Beispielsweise wird ein Kalzizement während der Verwitterung relativ leicht gelöst; das entsprechende Gestein ist deshalb für den Außenbereich weniger geeignet als ein Gestein als ein Quarzzement

3.2 Biogene = biologisch gebildete Karbonat-Sedimentgesteine

Steckbrief: Biogene Kalksteine - Ablagerungen der Kalk-Skelette von Tieren und Pflanzen

Bildung: Bei der Verwitterung von Gesteinen spielen oft chemische Lösungen eine wichtige Rolle: Wasser an oder nahe der Erdoberfläche entzieht den Gesteinen die löslichen Bestandteile. Flächiger Abfluss und Flüsse bringen sie u.a. in Seen und Meere.

Hier werden Kalzium und Karbonat von wirbellosen Tieren und Pflanzen benutzt, um ihre Skelette aufzubauen, z.B. Muschelschalen oder Schneckenhäuser, Algenstängel oder Korallenkolonien. Sie leben als Einzelorganismen oder in festen Riffstrukturen. Aufgrund der Vielfalt der beteiligten Organismen enthalten Kalksteine wichtige Information über jeweilige Lebensgemeinschaften und tragen zur Kenntnis der Entwicklung der Lebewelt bei. Aufgrund der Strömungsverhältnisse, des Salzgehalts und der Wechselbeziehungen zwischen verschiedenen Organismen bilden sich in der Fläche mosaik-artige Verteilungsmuster aus, die sich mit der Zeit, also mit fortschreitender Ablagerung, auch in der Vertikalen durchsetzen.

Zusammensetzung: Nach dem Tod der skelett-bildenden Organismen bleiben die Kalk-Teile zurück, und zwar als komplexe Strukturen, als ganze Skelette oder aber - häufiger - nach Zerkleinerung durch Wellen und Strömungen als Ansammlung von Kalk-Sand oder Kalk-Schlamm mit Korngrößen von Zentimetern bis Zehntel-Millimetern.

3.2.1

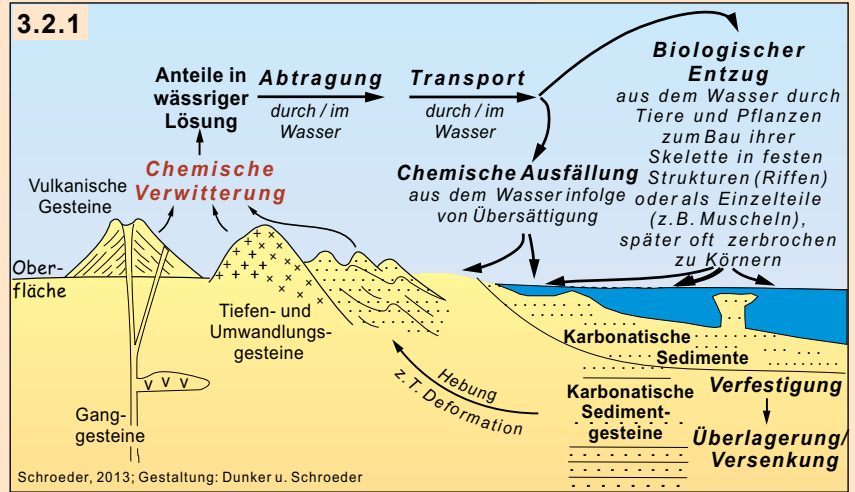


Abb. 3.2.1 Biogene und/oder chemisch gebildete Sedimentgesteine im Kreislauf der Gesteine [Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker u. Schroeder]

Die ökologisch bedingte Vielfalt von Art und Form der Körner wird kontrastiert durch die Monotonie der chemischen und der mineralogischen Zusammensetzung; sie bestehen im Wesentlichen aus der Verbindung CaCO_3 in Form der Minerale Kalzit und Aragonit.

Gefüge/Bindung: Innerhalb der Skelett-Teile und Strukturen gibt es bereits zu Lebzeiten Hohlräume, zwischen den Körnern nach Ablagerung weitere. Darin werden Kristalle von karbonathaltigen Mineralen - vor allem Kalzit - ausgefällt; so wird aus Lockermaterial ein Gestein.

Bei der Ablagerung der **bio-klastischen Karbonate** entstehen **mosaik-ähnliche Verteilungsmuster**; zwei davon werden hier vorgestellt:

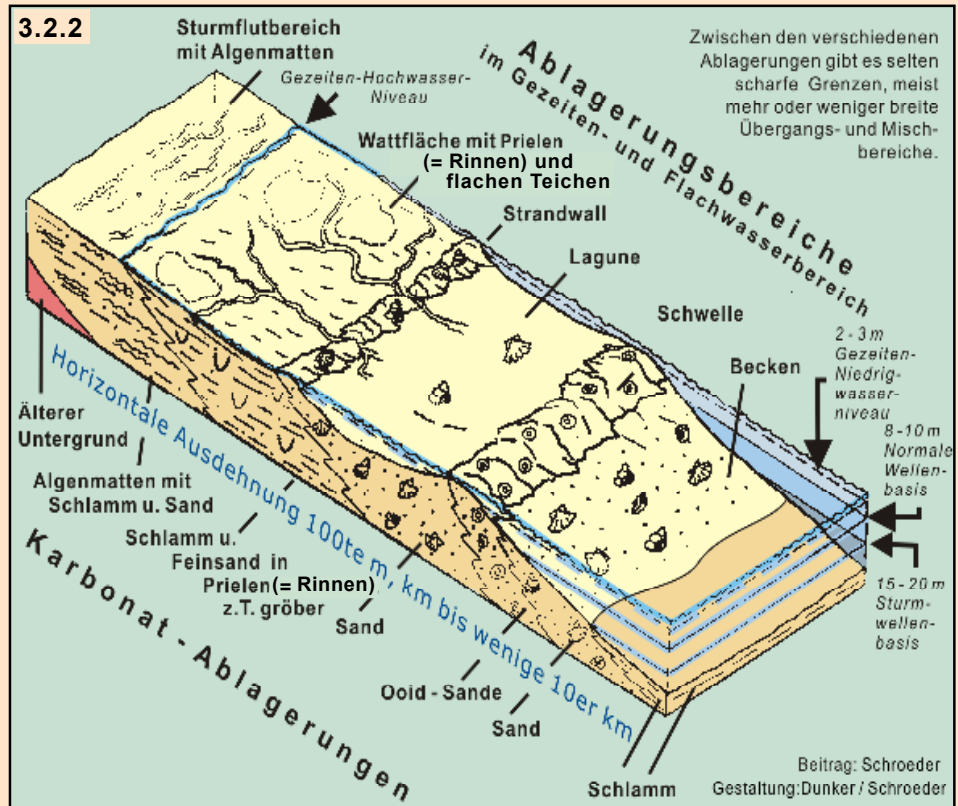
A Flachwasserablagerungen

Im warmen flachen Wasser mariner Plattformen - wie z.B. der Bahama-Bank im Karibischen Meer - werden aus Skeletten von wirbellosen Tieren (Muscheln u.a.) und deren Bruchstücken bio-klastische Karbonate produziert und auf ausgedehnten Flächen abgelagert. Aufgrund ihres Reliefs gibt es auf der Plattform unterschiedliche **Ablagerungsbereiche**, die durch Tiefen und Strömungsenergie definiert sind (s. Abb. 3.2.2).

Auf **flachen Schwellen** (= Sandbänken) sind Strömungs- und Wellenenergie besonders hoch; die Partikel bleiben dadurch ständig in Bewegung und sie werden verändert. Um den Partikel als Kern lagert sich eine dünne Kalkschicht nach der anderen an - es entsteht ein Bau wie bei Zwiebeln. So bilden sich kugel- bis ellipsoid-förmige Ooide in Größen bis zu zwei Millimetern. Schließlich sind sie zu schwer und bleiben liegen.

Abb. 3.2.2 Ablagerungsbereiche von bio-klastischen Kalksedimenten im Flachmeer mit geringen Reliefunterschieden (schematisiert, nicht maßstabsgerecht). Das Profil im Vertikalschnitt zeigt, wie Bereiche und Grenzen sich infolge des ansteigenden Meeresspiegels landwärts bewegen.

[Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker u. Schroeder]



Landwärts und meerwärts der Schwelle wird der Meeresboden je nach Tiefe, Wellen- und Strömungsenergie von unterschiedlichen Organismen besiedelt; nach ihrem Absterben werden deren Skelett-Teile mehr oder weniger vor Ort abgelagert. Die Zusammensetzung der Kalksande und -schlämme - und somit die der daraus entstehenden Kalksteine - ist weitgehend von der Ökologie bestimmt.

Das **gesetzmäßige Nebeneinander von Zonen** mit unterschiedlichen Kalksteinen in der Fläche und ihre Fortsetzung mit der Zeit, also in der Schichtenfolge nach oben, ist für Erkundung und Gewinnung der Gesteine maßgeblich. Solche drei-dimensionalen Folgen können kompliziert werden: Die Zonen bewegen sich mit steigendem Meeresspiegel in Richtung Küste - wie im Vertikalschnitt von Abb. 3.2.2 angedeutet -, mit fallendem von der Küste hinweg; entsprechend variieren später die Gesteine und deren Eigenschaften.

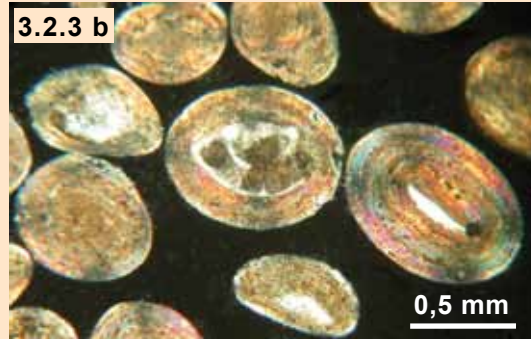


Abb. 3.2.3 a
Biogene
Karbonate:
Rezentes
Flachwasser-
Sediment
(Bermuda-Inseln)
aus Kalk-Skelett-
Teilen, u.a. von
M - Muscheln,
S - Schnecken,
Si - Seeigeln
F - sessilen
Foraminiferen
= Einzeller)

Abb. 3.2.3 b
Rezente Ooide
von Schwellen
der Bahama
Plattform mit
Skelett-Teilen als
Kern und angela-
gerten Schichten
aus Aragonit-
Kristallen
(Mikroskopische
Aufnahme eines
Dünnschliffs;
gekreuzte Nicols)
[Fotos: Schroeder]

Mischung von klastischen und karbonatischen Sedimenten

Dort wo Flüsse ihre Fracht von **klastischen Sedimenten** in ein flaches Meer mit **biogenen Kalksedimenten** tragen, kommt es zur **Mischung** beider Sediment-Typen. Dabei kann das gesamte Spektrum von 100 % klastischen Komponenten (z.B. im Deltabereich) bis zu 100 % bioklastischen Komponenten (in küstenfernen Bereichen) vorkommen. In einem derartigen Umfeld werden Sedimente mit unterschiedlichsten Mischungsverhältnissen abgelagert. Die daraus entstehenden Gesteine sind sehr variabel; man muss mit beachtlichen Unterschieden in Festigkeit und Beständigkeit gegenüber Verwitterung rechnen.

Und weiter zur **dritten Dimension**: Mit der **Zeit** können sich die Verhältnisse und damit die Positionen der **Grenzen zwischen Zonen unterschiedlicher Mischung ändern**. Das gilt später natürlich auch für die Grenzen zwischen den entsprechenden Gesteinen.

Für die **Verfestigung von biogenen Kalksedimenten** ist die **Zementation** der wichtigste Prozess. Sie beginnt bereits im Meerwasser, z.B. im Riff unmittelbar unter dem organischen Gewebe der beteiligten Organismen. Der Zement besteht wie die Körner chemisch aus Kalzium-Karbonat, mineralogisch aus Aragonit und Kalzit. Im Laufe der (geologischen) Zeit kann die Zusammensetzung des Porenwassers sehr unterschiedlich sein, z.B. eisenhaltig - dann entsteht eisenhaltiger Kalzit = $(Ca,Fe)CO_3$ - oder magnesiumhaltig - dann zementiert Magnesium-Kalzit = $(Ca,Mg)(CO_3)$ bzw. Dolomit = $MgCa(CO_3)_2$.

22 Wegen der Löslichkeit von Kalzium-Karbonat spielen die Prozesse der - z.T. **selektiven - Lösung** in der weiteren Geschichte der Gesteine, der Diagenese, eine wichtige Rolle. Lösungshohlräume sowie spannungsbedingte Spalten können im Laufe der Geschichte der Kalksteine immer wieder neu gebildet und gefüllt werden; ihre Füllungen führen zu interessanten Dekors in Naturwerksteinen.

Lösung unter gerichtetem Druck führt zur Bildung von Stylolithen, d.h. säulig verzahnten Flächen - im Schnitt Zick-Zack-Linien -, an denen sich unlösliche Rückstände - oft farblich - absetzen.

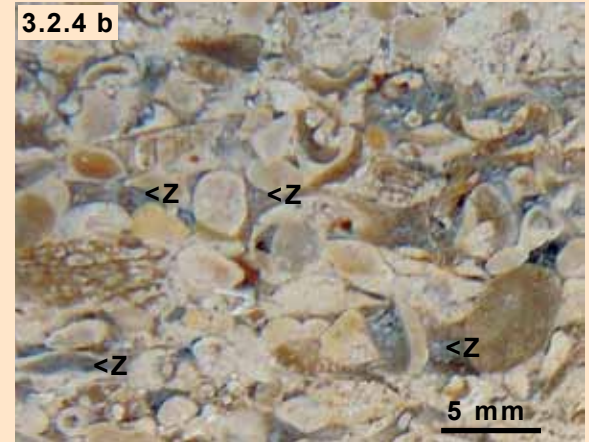


Abb. 3.2.4 b Korngefüge in oolithisch/ bioklastischen Kalkstein Moca Creme (M Jura, Portugal) in Jena, Ludwig-Weimar-Gasse/Markt. Die geschliffene Oberfläche zeigt ein Korngerüst aus Ooiden und diversen biogenen Partikeln wie Muscheln und Schnecken. Infolge der jeweiligen Formen der Partikel haben auch die Poren dazwischen unterschiedliche Formen: Viele sind mit Zementen (> Z, grau, Kalzit = $CaCO_3$) gefüllt. [Foto: Schroeder]

<< Abb. 3.2.4 a Korngefüge im biogenen Karbonatgestein

Die **Körner = Partikel = Gesteinskomponenten** variieren je nach den Organismen, die zum Sediment beitragen, bezüglich Zusammensetzung, Form, interner Struktur sowie Größe.

Die **Poren** (= Hohlräume zwischen den Körnern und - wiederum je nach beitragenden Organismen - auch in den Körnern) können durch unterschiedliche Kristalle (= Zemente bzw. Bindemittel, zumeist aus Kalzit) ganz oder teilweise gefüllt sein. [Nach Reinsch, 1995; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]



Fossilien in Kalksteinen

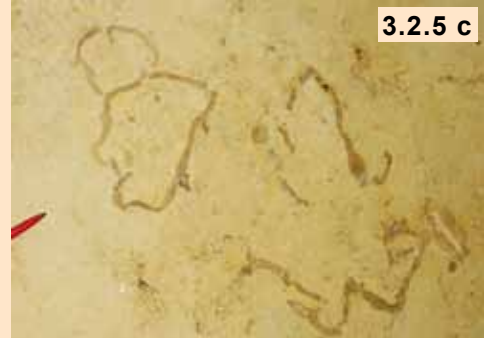
3.2.5 a



3.2.5 b



Abb. 3.2.5 c >> Schwämme im >> *Solnhofener Kalkstein* (Jura, Baden-Württemberg) Chemnitz, Rathaus-Fußboden, Platte, angeschnitten



3.2.5 c

<< Abb. 3.2.5 a Nautiliden (Geradhörner) und *Goniatit* (Ammonshorn) angeschnitten in Fußbodenplatte aus *Saalburg Rot* (Kalkstein, O Devon, Thüringen) Berlin, Rotes Rathaus

Da die biogenen Kalkgesteine aus Kalkskeletten bzw. Skelett-Teilen von wirbellosen Tieren und von Pflanzen (vor allem Algen) gebildet werden, bieten sie eine unendliche Fundgrube für Fossilien. Mit diesen gar nicht so seltenen Beispielen soll zum Suchen und Schauen - nicht zum Sammeln! - angeregt werden.

<< Abb. 3.2.5 b *Muschelschill* aus dem *Kirchheimer Muschelkalk* (M Trias, Bayern) Berlin, TU. Erweiterungsbau, Wandverkleidung)

Abb. 3.2.5 d *Turmschnecke* (mit >> feinem Sediment gefüllt, vertikal angeschnitten) in *Chandore Kalkstein* (O Kreide, Frankreich) Berlin, Friedrichstraße 69 - 71, Fußbodenplatte

3.2.5 d



[Fotos: Schroeder]

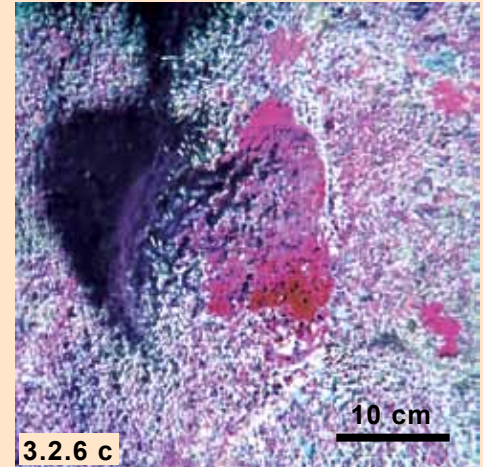
B Riffe: Von Organismen aufgebaute Strukturen

Meerestiere oder -pflanzen, die auf dem Boden festsitzen und in die Höhe wie in die Breite wachsen - z.B. Korallen, Schwämme, manche Muscheln, Algen oder Würmer - bauen mit ihren Kalkskeletten feste Gerüste, sogenannte Riff-Strukturen. Diese können Höhen von Zentimetern bis Zehner Metern und horizontale Ausdehnungen von Zentimetern bis zu Hunderten von Kilometern erreichen. **Kleinräumig** werden die festen gewachsenen Strukturen umgeben und gefüllt mit Lockermaterial aus kalkigen Skeletten oder deren Bruchstücken. Zum Teil werden die Hohlräume schon zu Lebzeiten der Organismen, aber auch später im Laufe der Erdgeschichte mit Karbonat-Zementen (= Kristallen) gefüllt. Infolgedessen variiert die Zusammensetzung des Gesteins auf engem Raum. **Großräumig** untergliedern Riffe den Meeresboden in Schwellen und Becken (s. Abb. 3.2.8); dabei kann ein zuvor vulkanisch oder durch Bruch-Tektonik gebildetes Relief genutzt und akzentuiert werden.

Abb. 3.2.6 Rezente (= gegenwärtig lebende) Riffstrukturen; Unterwasseraufnahmen von den Bahama-Inseln, Karibik

a Offene Struktur aus ästigen Korallen **b Pfeilerstrukturen** aus kuppel- bis kugelförmigen Korallen (a + b Kopf des Tauchers als Maßstab).
c Krusten aus Rotalgen, welche die ursprüngliche Struktur umwachsen und verstärken. [Fotos: Schroeder]

24



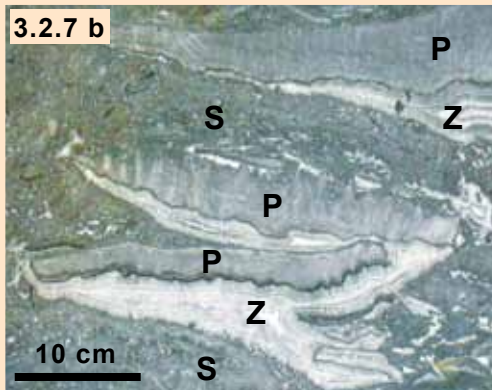
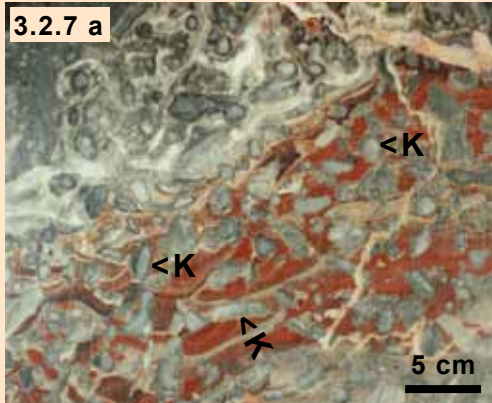


Abb. 3.2.7 Fossile Riffgesteine

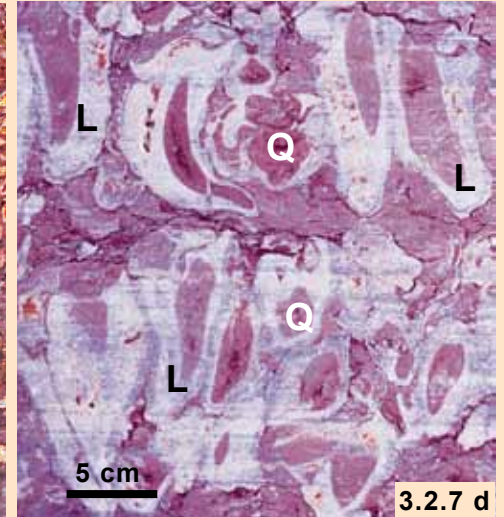
a Devon: Aberg Graubünden, Lahn "marmor" (= Kalkstein, Hessen): **K**orallenäste (im Schnitt als Kreise oder Ellipsen) mit Zwischen-Füllung von feinem Sediment; Berlin, Aussenministerium, Innentreppe

b Devon: Wirbelau, Lahn "marmor" (= Kalkstein, Hessen): **P**lattige Stromatoporen (senkrecht geschnitten) mit **S**ediment- u. **Z**ement-Füllungen; Münster Hbf, innen, Wandverkleidung

c Trias: Adnet Tropf (Adnet, Österreich): Ästige Korallenkolonie mit feiner Sedimentfüllung (Gesägte vertikale Wand im Steinbruch)

d Kreide: Ereño Rojo (Ereño, Spanien): Bechermuscheln (= Rudisten; mit **L**ängs- und **Q**uerschnitten) gefüllt mit und umgeben von feinem Sediment (Gesägte vertikale Wand im Steinbruch)

[Fotos: a Kleeberg, b - d Schroeder]



3.2.8

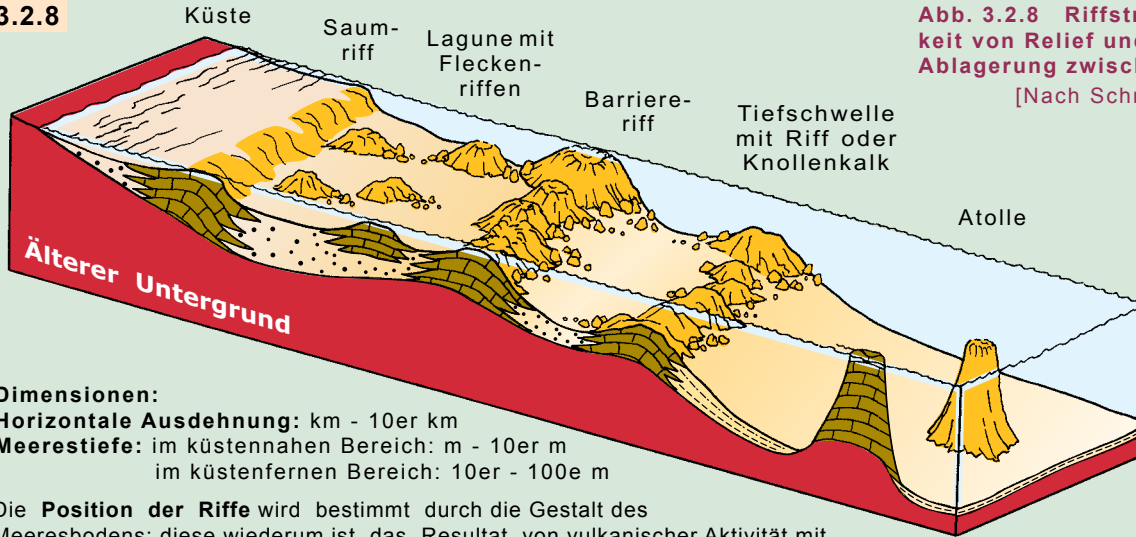


Abb. 3.2.8 Riffstruktur-Typen in Abhängigkeit von Relief und Tiefe sowie bioklastische Ablagerung zwischen den Riffen

[Nach Schroeder, 2006; Grafik: Dunker]

26

Dimensionen:

Horizontale Ausdehnung: km - 10er km

Meerestiefe: im küstennahen Bereich: m - 10er m

im küstenfernen Bereich: 10er - 100er m

Die **Position der Riffe** wird bestimmt durch die Gestalt des Meeresbodens; diese wiederum ist das Resultat von vulkanischer Aktivität mit Gesteinsbildung, von Hebungen und Senkungen in Bruchzonen, von Versenkung der durch Verwitterung und Abtragung an der Erdoberfläche geformten Teile oder aber von einer Kombination dieser Vorgänge. Durch das Wachstum der Riffe wird die Gestalt des Meeresbodens weiter differenziert.

Zusammensetzung und Form des Riffgerüsts und des daraus entstehenden Riffgesteins bestimmen die **beteiligten Organismen**, meist wirbellose kolonie-bildende Tiere wie etwa Korallen. Deren Verteilung hängt u.a. ab von den Licht-, Temperatur- und Energieverhältnissen: Unterschiedliche Arten der Riffbauer haben diesbezüglich unterschiedliche Bedürfnisse; daraus ergibt sich eine Verteilung in bestimmten Tiefenzonen. In und auf dem Gerüst lebt eine Vielfalt von Organismen - wiederum je nach Bedürfnissen zoniert; sie profitieren von der erhöhten Position, der besseren Durchströmung und/oder dem Schutz des Gerüsts.

Die Ablagerungen zwischen den Riffen sind Sande oder Schlämme bestehend aus den kalkigen Skelett-Teilen vieler verschiedener wirbelloser Tiere- oder Algen, die am oder im weichen Boden lebten, die das Riff bauten oder darauf lebten (deren Skelette also abbrechen oder herunterfielen) oder die schwebend in der Wassersäule lebten und nach dem Tod zu Boden sanken. Letzere spielen insbesondere im küstenfernen Bereich eine Rolle. Zuzusammensetzung von klastischem Material ist bevorzugt im küstennahen Bereich zu erwarten.

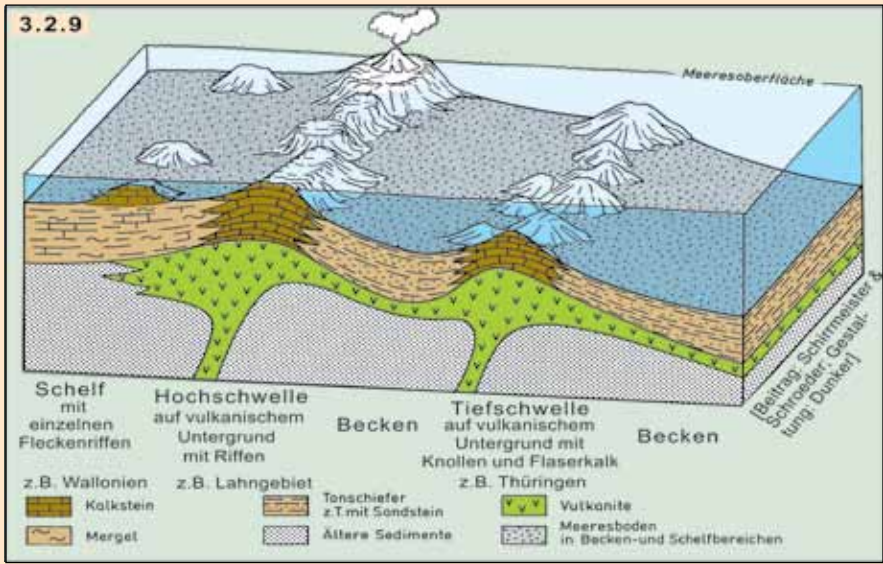


Abb. 3.2.9 Ablagerungsbereiche von Riff-, Knollen- und Flaserkalken am Beispiel des Mittleren und Oberen Devons auf Schelf, Hoch- und Tiefschwellen. Das Blockbild dient als Prinzipskizze für Mitteleuropa, d.h. für die Naturwerksteingebiete in Thüringen, im Frankenwald (Bayern), im Lahnggebiet (Hessen) und in Wallonien (Belgien). Es zeigt, dass für jedes Sedimentgestein ein Ablagerungsbereich zu definieren ist, dessen Bedingungen wie z.B. Wassertiefe und Strömungsenergie die Gesteinseigenschaften bestimmen und deren Variationen sich in unterschiedlichen Gesteinen widerspiegeln. [Nach Rabien, 1956, und Oetken, 1997; Beitrag: Schirmeister & Schroeder; Gestaltung: Dunker]

Tab. 3.2.1 Riffbauende Organismen im Laufe der Erdgeschichte [Nach Schroeder, 2006]

Millionen Jahre	Perioden der Erdgeschichte	Wichtige Riffbauende Organismen (Nach James, 1983)
2,6	Quartär	Korallen, Kalkalgen
66	Tertiär	Korallen
145	Kreide	Rudisten = Bechermuscheln
202	Jura	Korallen, Kieselschwämme
253	Trias	Korallen
	Perm	Moostiere, Kalkalgen Schwämme
296	Karbon	Kalkalgen, Moostiere
361	Devon	Stromatoporen*, Korallen
418	Silur	---
444	Ordovizium	Stromatoporen*, Korallen, Kalkalgen, Schwämme
485	Kambrium	Kalkalgen, Schwämme (= Archäocyathen)
541		

Λ Zeit nicht maßstäblich *Kuppelförmige Schwämme
 Daten: Deutsche Stratigraphische Kommission, 2016

3.3 Chemisch gebildete Karbonat- und Sulfatgesteine

Steckbrief:

Chemisch gebildete Karbonate

Bildung: Bei der Verwitterung von Gesteinen ist oft chemische Auflösung wichtig: Wasser an oder nahe der Erdoberfläche entzieht den Gesteinen die löslichen Bestandteile. Flächiger Abfluss und Flüsse bringen diese u.a. in Seen und Meere, aber auch ins Grundwasser.

Dort können die gelösten Stoffe soweit angereichert werden, dass sie infolge von Erwärmung und Eindampfung ausgefällt werden. Dabei gibt es aufgrund der unterschiedlichen Löslichkeiten eine regelhafte Folge von Karbonaten über Sulfate bis hin zu Chloriden; letztere sind allerdings wegen ihrer Löslichkeit überhaupt nicht als Naturwerksteine zu verwenden.

Karbonatgesteine: Unter bestimmten Bedingungen kann das Kalzium-Karbonat chemisch direkt in Form von Kalzit-Kristallen in Krusten aus dem Süßwasser ausgefällt werden - wie z.B. als **Travertin** oder **Sinter** (Abb. 3.3.1 a; siehe auch Abb. S 2.1 auf S. 2). Bei den Krusten können Pflanzenmatten oder -polster als Unterlage bzw. „Gerüst“ für das Aufwachsen, aber auch bei der Modifizierung der Wasser-Chemie eine Rolle spielen (Abb. 3.3.1 b). Bisweilen werden wirbellose Tiere, z.B. Schnecken, von den Krusten eingeschlossen.

Abb. 3.3.1
Chemisch gebildete
Karbonatgesteine

a **Cannstatter Travertin** = Kalkstein (Quartär), der Schicht für Schicht aus Süßwasser ausgefällt / abgelagert wurde. Beispiel: Fassade Hausvogteiplatz 1, Berlin

b **Travertino Romano** (?) = Kalkstein (Quartär) mit Pflanzenstrukturen; Beispiel: Skulpturensockel Museumsinsel Berlin

[Fotos: Schroeder]





3.3.1 c

3.3.1 c Skulptur aus Stalattite, einem Kalksinter (Quartär, Provinz Triest, Italien) Skulptur TU Berlin Physikgebäude, Flur EG. Die hier fast senkrecht stehenden feinen Schichten zeigen die Ablagerung (Skulptur TU Berlin Physikgeb., Flur EG) [Foto: Schroeder]

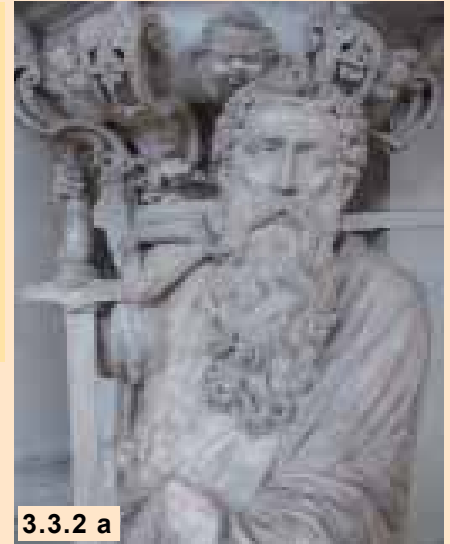
Steckbrief: Chemisch gebildete Sulfatgesteine

Kalzium-Sulfatgesteine bestehen aus den Mineralen Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) oder Anhydrit (CaSO_4) sind gelöst im Meerwasser. Wenn dieses infolge von hohen Temperaturen und fehlendem oder geringem Zufluss stark eingedampft und so im Hinblick auf diese Salze übersättigt wird, fallen diese aus und kristallisieren, meist in Form von Krusten.

Als Naturwerksteine sind Sulfatgesteine in Form von Gips bzw. Alabaster verwendet worden - vor allem als Bauschmuck von Gebäuden und für Skulpturen -, weil sie relativ weich und daher leicht zu bearbeiten sind. Weil sie aber sehr witterungsempfindlich sind, werden sie fast ausschließlich im Inneren von Gebäuden verwendet.



3.3.2 b



3.3.2 a

Abb. 3.3.2 a Nordhäuser Alabaster (Zechstein / Thüringen) „Paulus“-Skulptur von der Kanzel des Magdeburger Doms; geschaffen von C. Kapup, 1595 -1597).

<< **b Jenaer Alabaster** (= Porphyrgips, Buntsandstein, Thüringen) Treppenhandlauf im Hauptgebäude der Universität Jena

[Fotos: Schirmeister]

(Siehe auch Abb. S 48.2 auf Seite 48)

3.4 Paläogeografie: Rahmen für die Sedimentverteilung

Karten und Blockbilder der Ablagerungsbereiche verschiedener Sedimente (Abb. 3.1.5, 3.2.2, 3.2.8, 3.2.9) zeigen, dass in **horizontaler Richtung** auf engem Raum Ablagerungsbereiche sowie -prozesse und somit die Eigenschaften der Sedimente erheblich variieren. Das gilt entsprechend im **großräumigen Kontext der Paläogeografie**.

Zwei mitteleuropäische Beispiele - eines aus dem Devon, das andere aus der Trias, speziell dem Buntsandstein, zeigen die Verteilung der großflächigen Sedimentationräume. (Heutige Land/Meergrenzen, Flüsse und Orte sind in den Karten unterlegt, um die Orientierung erleichtern).

A In der Zeit von Mittel- bis Ober-Devon (vor ca. 380 Millionen Jahren) gab es in Mitteleuropa ein weit ausgedehntes Meer in einer Senke; diese bestand aus mehreren durch Schwellen voneinander getrennten Becken so z.B. dem **Rheinisch-Schlesischen Becken**, dem **Norddeutschen**

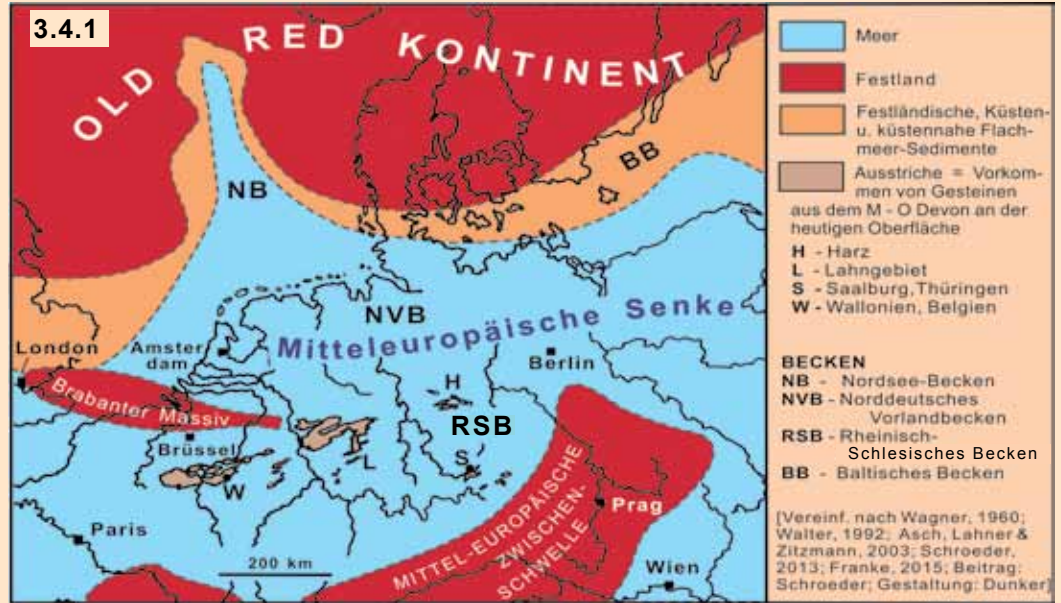


Abb. 3.4.1 Verteilung von Land und Meer zur Zeit des Mittel- bis Ober-Devons (vor ca. 380 Millionen Jahren) sowie heutige Vorkommen von Gesteinen dieses Alters an der Erdoberfläche

Vorland-Becken, dem Nordsee- und dem Baltischen Becken. Diese enthalten ihrerseits wiederum viele verschiedene Ablagerungsbereiche. Das Blockbild (Abb. 3.2.9) zeigt, wie der zentrale Teil der Senke untergliedert ist. Es entstanden in diesem Meer vor allem Kalksteine und Tonsteine; letztere wurden teilweise später zu (Dach-)Schiefern umgewandelt.

B In der Unteren Trias, der Zeit des Buntsandsteins (vor ca. 250 Millionen Jahren) befand sich in Mitteleuropa dagegen ein terrestrisches Becken (= eine Senke auf dem Land; Abb. 3.4.2), in dem vor allem von Flüssen mit verflochtenen und mäandrierenden Läufen sowie in Seen Sande abgelagert wurden (s. im Blockbild Abb. 3.1.5, S. 16, den terrestrischen Teil). Diese wurden dann zu - vorwiegend roten - Buntsandsteinen, die in vielen Städten als Naturwerksteine zu sehen sind. Dieses Becken wurde später geflutet, und es entstand das ausgedehnte flache Muschelkalkmeer, in dem zahlreiche kalkige Naturwerksteine gebildet wurden.

Die Ausmaße der Becken auf beiden Karten (3.4.1 und 3.4.2) zeigen, wo man entsprechende Gesteine heute finden könnte, wenn sie nicht von anschließend abgelagerten Sedimenten bedeckt und somit versenkt oder aber nach ihrer Hebung an die Oberfläche dort abgetragen worden wären.

Die heutigen Flächen mit Gesteinen des jeweiligen Alters an der Erdoberfläche machen nur einen Bruchteil des ursprünglichen Ablagerungsraumes aus. Nur auf diesen Flächen aber können

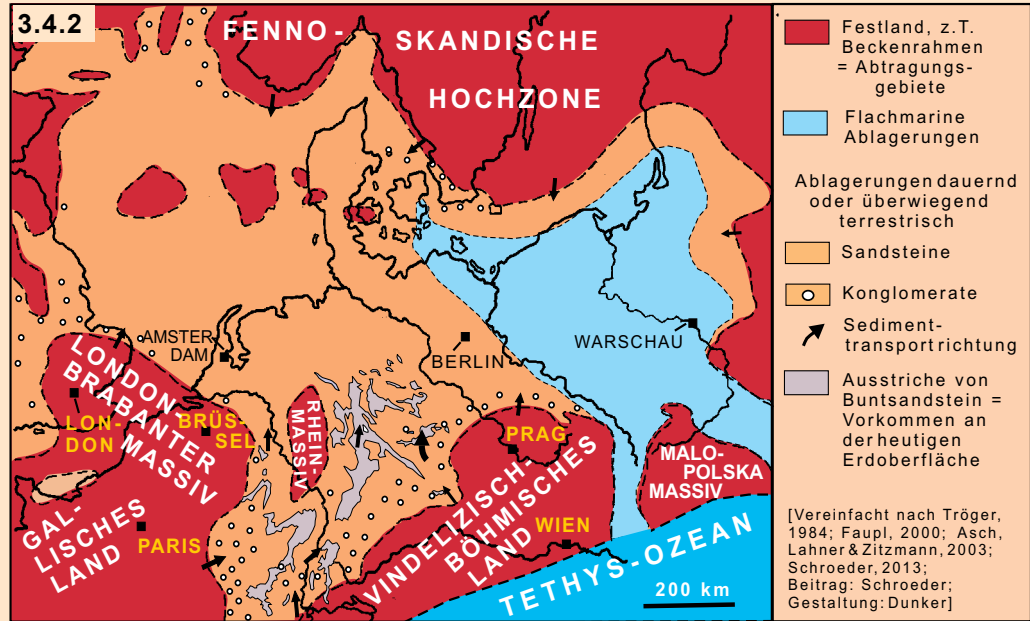
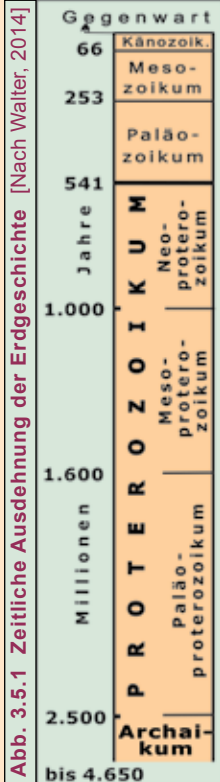


Abb. 3.4.2 Verteilung von Land und Meer zur Zeit des Buntsandsteins (vor ca. 250 Millionen Jahren) sowie heutige Vorkommen von Gesteinen dieses Alters an der Erdoberfläche. Naturwerksteine zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten gewonnen werden, und das auch nur dort, wo dem Abbau nicht andere Gründe wie z.B. Besiedlung/Überbauung oder Naturschutz entgegenstehen. - Vom Kartenbild für bestimmte Zeitabschnitte kommt man schnell zur Zeit, der vierten = historischen Dimension (s. Abschnitt 3.5).



3.5 Ablagerungen in Laufe der Erdgeschichte

Vorbemerkungen: Die Erde ist vor ca. 4.650 Millionen Jahren entstanden; die ältesten bekannten Gesteine (Gneise in Kanada) sind ca. 4.060 Millionen Jahre alt. Die frühen Stadien der Geschichte bergen noch viele Geheimnisse, sind aber vor allem wissenschaftlich interessant: Steine liefern dafür Informationen. Für Naturwerksteine in Mitteleuropa ist Skandinavien wichtig, weil das Inlandeis im Quartär von dort große Mengen alter Steine u.a. nach Norddeutschland transportierte, die dann dort gewonnen und verwendet wurden.

Sedimentgesteine: Die ältesten Sedimentgesteine, die aus Skandinavien nach Deutschland geschoben wurden z.B. Dala- und Jotnische Sandsteine, sind 1.350 - 1.300 Millionen Jahre alt. Bei der Bildung von Sedimentgesteinen ist die Zeit entscheidend - wie schon bei der Gegenüberstellung der paläogeografischen Karten (Abb. 3.4.1 und 3.4.2) anklang. Der Rahmen der Ablagerungsräume wird durch die **Strukturentwicklung** bestimmt; in dem Zusammenhang geht es um Gebirgsbildungen, d.h. um Hebung und Senkung, um Zerbrecen, Verbiegung und Faltung von Teilen der Erdkruste (Reuther, 2012). Diese Prozesse sind nicht einmalig, sondern können wiederholt und/oder abwechselnd im Lauf der Zeit eine bestimmte Region verändern. Wie stark verallgemeinert Abb. 3.5.2 zeigt, hat es im Laufe

der Erdgeschichte mehrere Zeitabschnitte mit Phasen struktureller (= tektonischer) Aktivität gegeben: Davon wurden unterschiedliche Regionen zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlichen Intensitäten betroffen. Dazwischen gab es Zeiten realtiver Ruhe:

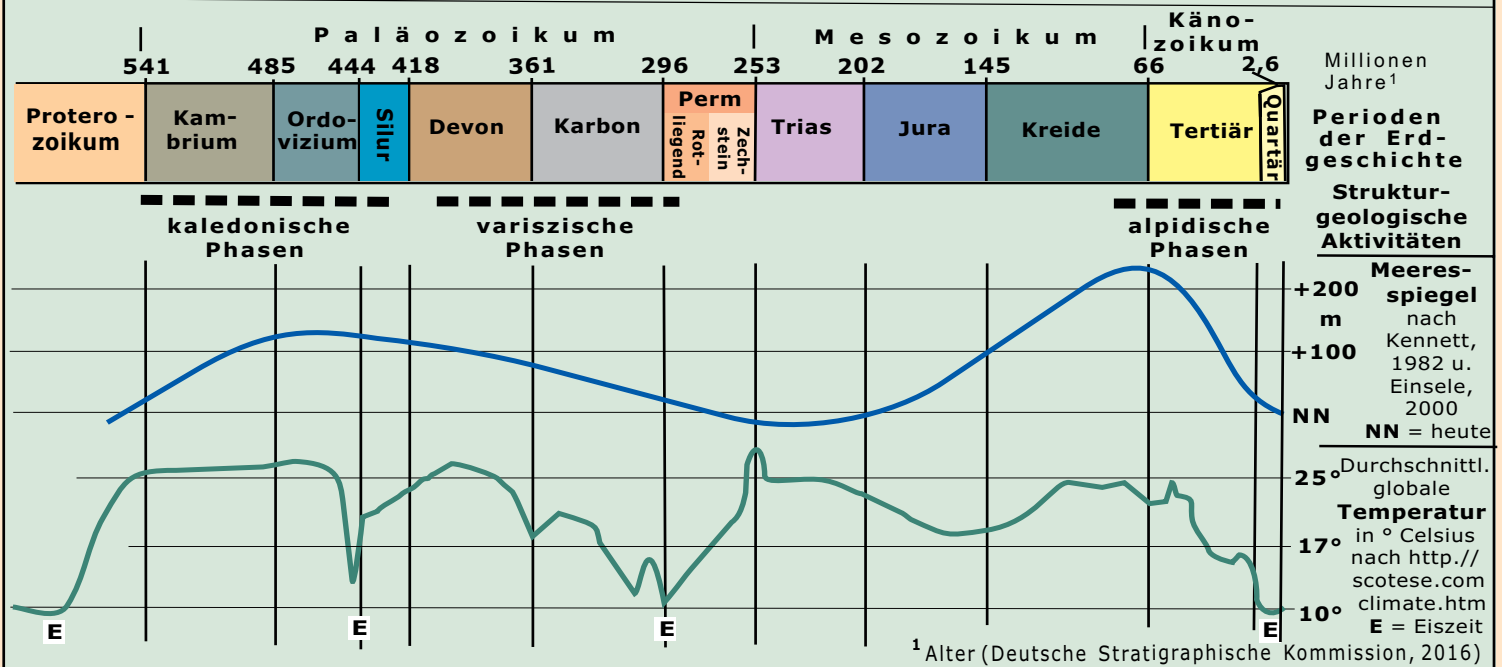
In gewissem Zusammenhang mit den strukturellen Bewegungen steht der **Meeresspiegel**. Sein Niveau bestimmt, wo und wie ausgedehnt Land und Meer sind, somit Lage und Ausdehnung der jeweiligen spezielleren Ablagerungsbereiche vom Hochgebirge bis zur Küste bzw. von der Küste bis in die Tiefsee, also auch wo die entsprechenden Sedimente gebildet werden können. Abb. 3.5.2 zeigt - wiederum nur als ganz allgemeinen Trend, der von zahlreichen Schwankungen überlagert wurde -, dass der Meeresspiegel im Laufe der Zeit um mehr als 200 m schwankte: Auf diese Weise variierten an der Erdoberfläche Verteilung und Intensität der unterschiedlichen Prozesse, die für Verwitterung, Abtragung, Ablagerung und Gesteinsverfestigung maßgeblich sind.

Ein weiterer bestimmender Faktor in dem Sedimentationsgeschehen ist die **Oberflächentemperatur**. Z.B. werden bei hohen Temperaturen infolge von Verdunstung chemische Sedimente wie Salzgesteine gebildet; bei niedrigen Temperaturen kann es zu Eiszeiten, damit zu Moränen- und Schmelzwasserablagerungen kommen. In Abb. 3.5.2 wird der Gang der globalen Durchschnittstemperatur gezeigt: Diese unterliegt aber noch zahlreichen kurzzeitigeren Schwankungen. Hinzu kommt, dass die Temperatur zur gleichen Zeit auf der Erdoberfläche variiert, was sich entsprechend auf das Mosaik der gleichzeitig gebildeten Sedimente auswirkt.

Die Temperatur bestimmt ihrerseits auch den **Wasserhaushalt**; entsprechend schwanken Niederschläge zeitlich und regional, also zugleich die Wassermengen, die beispielsweise für Abtragung, Transport und Ablagerung klastischer Sedimente zur Verfügung stehen. Jedes Sedimentgestein „erzählt“ seine Entstehungsgeschichte, und Variationen in der Zeit spiegeln sich unmittelbar in der Schichtenfolge wider.

Abb. 3.5.2 Entwicklung von struktureller Aktivität, Meeresspiegel und Temperatur im Laufe der Erdgeschichte

[Zusammenstellung: Schroeder; Gestaltung: Schroeder & Dunker]



Die hier gegebenen Stichworte sollen wenigstens kurz auf diese faszinierende Thematik hinweisen; zur Vertiefung werden Einführungen in die „Historische Geologie“ etwa von Rothe (2009), Walter (2014) und Elicki & Breitkreuz (2016) empfohlen.

3.6 Lagerung und Deformation von Sedimentgesteinen

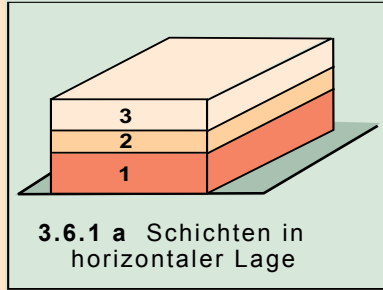
3.6.1 Schichten

Sedimente werden im allgemeinen in Schichten abgelagert, also als Körper, deren untere und obere Grenzfläche mehr oder weniger horizontal liegt und sich über hunderte Meter bis zu hunderten Kilometern erstrecken kann. Die vertikale Ausdehnung = Dicke = „Mächtigkeit“ liegt im Bereich von Zentimetern bis zu Zehner Metern. Die Sedimentgesteine werden deshalb auch als Schichtgesteine bezeichnet.

Die älteren Schichten liegen unten, die jüngeren oben (Abb. 3.6.1 a), die Schichtfolge ist also eine Alters- bzw. Zeitfolge. Diese Tatsache ist das Grundprinzip der Stratigraphie, das ist die zeitliche Gliederung der gesamten Erdgeschichte.

Die verschiedenen Sedimentstrukturen wie Schrägschichtung oder Rinnen (s. Abb. 3.1.6, 3.1.7) können dieses einfache Bild im Bereich von Zentimetern bis 100en Metern verkomplizieren oder aber die Riffe (Abb. 3.2.8, 3.2.9) im Bereich von Metern bis 10er Kilometern verändern. In solchen Fällen sind differenziertere Betrachtungen erforderlich.

Infolge der Einwirkungen von verschiedenen Kräften innerhalb der Erdkruste können **Schichten** schräg gestellt werden.



3.6.1 a Schichten in horizontaler Lage

Abb. 3.6.1 a Schichten in horizontaler Lagerung mit der Abfolge von der älteren (1) Schicht aufwärts zu den jüngeren (2, 3) Schichten

[Nach Helms, 1985; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]

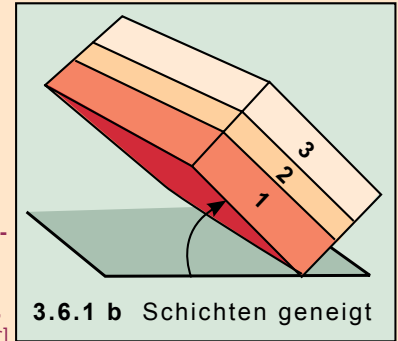
Abb. 3.6.1 c Schichten des >> Muschelkalks im Tagebau von Rüdersdorf, geneigt bedingt durch den Salzaufstieg im Untergrund

[Foto: Schroeder]

Abb. 3.6.1 b >> Infolge von strukturellen Vorgängen, z.B. dem Aufsteigen einer Salzstruktur im Untergrund, wird das ursprünglich horizontale Schichtpaket geneigt.

[Nach Helms, 1985;

Beitrag: Schroeder, Gestaltung: Dunker]



3.6.1 b Schichten geneigt



3.6.2 Deformation: Brüche, Klüfte, Verwerfungen

Bedingt durch Spannungen in der Erdkruste werden Gesteine zerbrochen. Die Brüche (Abb. 3.6.2) können sich zu Spalten weiten und diese Hohlräume dann durch Ausfällung von Kristallen unterschiedlicher Zusammensetzung gefüllt = verheilt werden. Im Laufe der Zeit

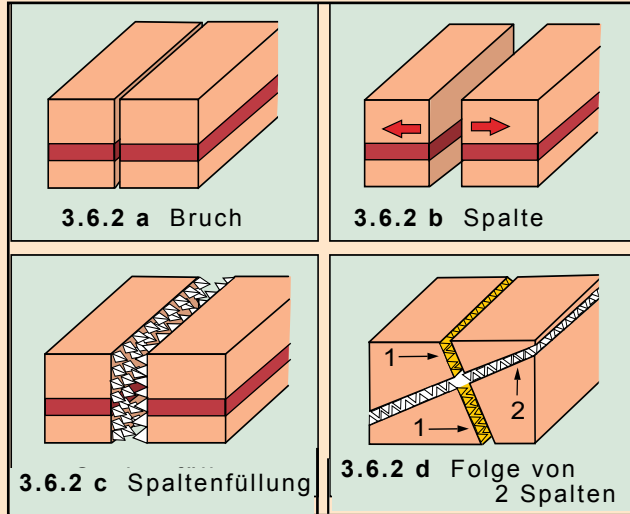


Abb. 3.6.2 a - d Klüfte = Brüche entstehen beim Zerbrechen von Gesteinen. Sie können sich zu Spalten weiten und später durch Kristall-Ausfällungen gefüllt (= „geheilt“) werden.

[Nach Helms, 1985; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]

können Zerbrechen und Füllung mehrfach wiederholt werden. Auf der Gesteins-Schnittfläche erscheinen einzelne verfüllten Klüfte als Linien; mehrere Generationen von Klüften bilden zuweilen dekorative Netzwerke.

Entlang von Brüchen können benachbarte Gesteinsblöcke um Zentimeter, Meter, Zehner-Meter und mehr gegeneinander verschoben werden (Abb. 3.6.2); infolgedessen können dann völlig unterschiedliche Gesteine nebeneinander liegen. Bei Dehnungen werden „Abschiebungen“ (Abb. 3.6.2 e), bei Zusammenpressen „Aufschiebungen“ (Abb. 3.2.6 f) gebildet. So hat schon manches prächtige Natursteinvorkommen an einer riesigen Bruchfläche - der Geologe spricht von einer „Verwerfung“ - sein plötzlichliches Ende gefunden.

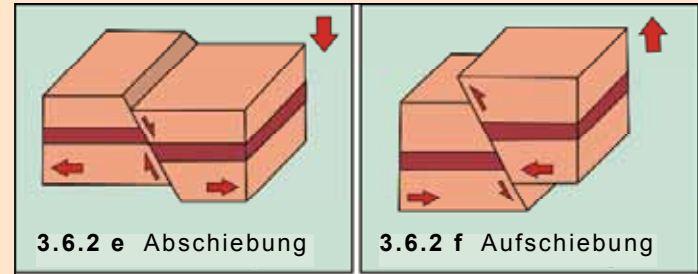
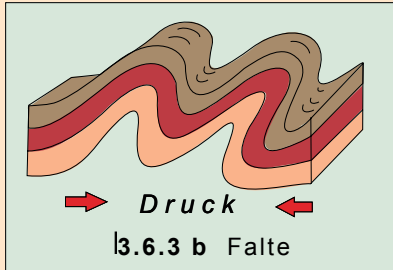
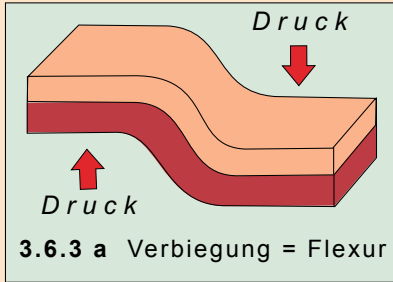


Abb. 3.6.2 e - f Deformation von Gesteinsschichten durch Abwärts- (e) oder Aufwärtsverschiebungen (f) an Brüchen (schematische Darstellung). Das Aussetzen der dunkelroten Schicht - man betrachte sie hier als wertvollen Naturwerkstein - an der Verwerfung ist deutlich zu sehen. Die Pfeile zeigen die Druck- bzw. Bewegungsrichtungen an.

[Nach Helms, 1985; Beitrag Schroeder, Gestaltung: Dunker]

3.6.3 Deformation: Verbiegungen - Flexuren - Falten

Wenn das Gestein nicht spröde und zerbrechlich, sondern biegsam ist, und/oder wenn die beteiligten Kräfte sehr langsam wirksam werden, werden die Gesteine verbogen oder gefaltet: Es bilden sich Flexuren und Falten in Dimensionen von Metern bis Kilometern. Derartige Verbiegungen können beim Abbau und Verfolgen einer Schicht schwerwiegende Probleme bereiten.



<<< **Abb. 3.6.3**
Verbiegung

a Flexur Bei seitlich unterschiedlichem vertikal gerichtetem Druck wird ein Teil einer Schicht abgebogen, der andre relativ gehoben.

b Falte Bei seitlichem Einengungsdruck wird das Gesteinspaket gefaltet. Je nach Gesteinspaket und Druckverhältnissen können die Falten flach oder steil, symmetrisch oder asymmetrisch sein.

[Nach Helms, 1985;
Beitrag: Schroeder;
Gestaltung: Dunker]

3.6.4 Deformationen im erdgeschichtlichen Ablauf

Für das Verständnis der Abläufe in der geologischen Geschichte, wie auch der Erscheinungsbilder in manchen Steinbrüchen ist es wichtig: Die Deformation steht nicht erst am Ende der Entwicklung eines Gesteins, sondern kommt im Laufe der Entwicklung immer wieder vor, angefangen bei der ersten Verfestigung vor hunderten von Millionen Jahren bis zu den eiszeitlichen Prozessen vor wenigen 100.000 Jahren. Sie können sich in bunter Folge abwechseln z.B. mit Abtragung (a), erneuter Ablagerung auf der Abtragungsfläche (b) erneuter Deformation und Abtragung (c).

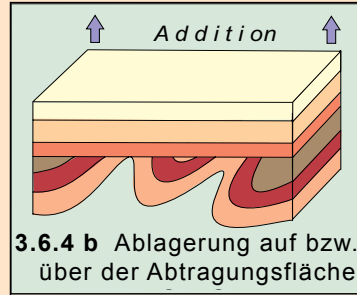
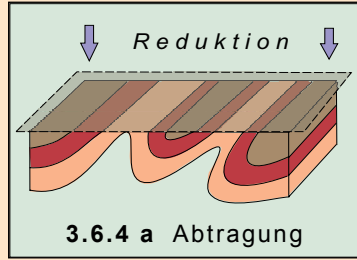
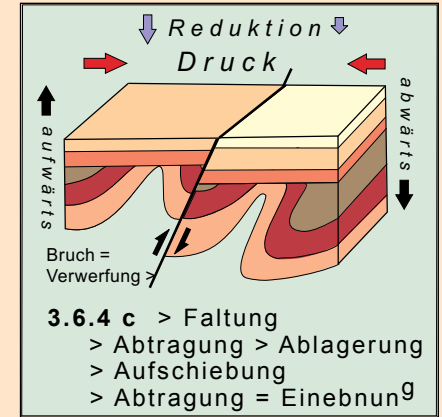


Abb. 3.6.4 Beispiele für Abfolgen von Ablagerungen, Deformationen und Abtragungen [Konstruktionen: Schroeder; Gestaltung: Dunker]



4 UMWANDLUNGSGESTEINE = METAMORPHITE

Steckbrief: Umwandlungsgesteine = Metamorphite

Bildung = Metamorphose: Jedes Gestein kann im Verlauf geologischer Prozesse in Bereiche mit zunehmend höheren Drücken und Temperaturen gelangen. Regional können beispielsweise in Becken Gesteine tief versenkt werden oder in tektonisch aktiven Zonen wie an Plattenrändern mit ihren Versenkungs- und Deformationszonen (> thermo-dynamische Umwandlung) in die Tiefe abgeführt werden.

37 In diesen Bereichen werden die Mineral-Komponenten des Gesteins instabil, mit wachsender Temperatur oder steigendem Druck ständig mehr. Sie werden dabei in ihrer Struktur verändert, wobei die Umwandlung im festen Zustand erfolgt. Dabei bleibt die chemische Zusammensetzung im Prinzip konstant; es können aber leichtflüchtige Bestandteile abgegeben oder aufgenommen werden.

Zusammensetzung: Je nach Ausgangsgestein sind für bestimmte Druck/Temperatur-Bedingungen bestimmte neu gebildete Minerale und damit Gesteine charakteristisch.

Gefüge: Weit verbreitet unter Umwandlungsgesteinen und somit weitgehend charakteristisch ist eine annähernd parallele Ausrichtung der Mineralkompo-

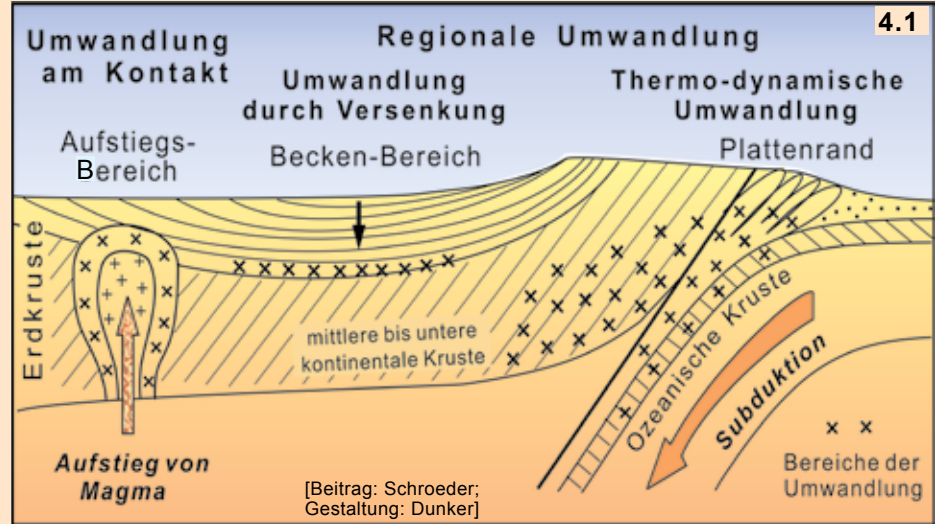


Abb. 4.1 Umwandlungsgesteine im Kreislauf der Gesteine

nenten senkrecht zur Druckrichtung, die bei der Bildung vorherrscht (Schiefer, Gneise). Es gibt daneben Umwandlungsgesteine ohne solche Ausrichtung (Marmore, Quarzite).

Umwandlung am Kontakt: Im Gegensatz zu den oben genannten Umwandlungen wird dabei das Gestein nicht in Bereiche höherer Temperatur (und höheren Druckes) hinein bewegt, sondern die Wärmequelle kommt zum Gestein: Die Umwandlung erfolgt am Kontakt einer aufsteigenden Magmenmasse. Das umgebende Gestein wird infolge der Wärmewirkung umgewandelt - je näher am Kontakt, desto höher die Temperatur und desto stärker die Umwandlung.

4.1 Regional-Metamorphose

4.1.1 Umwandlungsbedingungen und -produkte

Die bisher vorgestellten Gesteine können im festen Zustand mineralogisch umgewandelt werden, wenn sie - z.B. durch Absenkung - in Bereiche mit höheren Drücken (bis ca. 30.000 bar) und/oder höheren Temperaturen ($> 200^{\circ}\text{C}$ - 1.000°C) geraten. Die **Intensität der Umwandlung**, der **Grad der Metamorphose**, steigt mit Druck und Temperatur. Man unterscheidet mit zunehmender Tiefe vier Zonen von „sehr gering“ bis „hoch“, die durch bestimmte Druck- (= P) und Temperatur- (= T) bereiche gekennzeichnet sind (Tab. 4 - 1).

Der Petrologe bestimmt den **Metamorphosegrad** anhand von Mineralen und/oder Gesteinen, die für Bereiche mit entsprechenden P-T-Bedingungen charakteristisch sind. Tabelle 4 - 1 zeigt **Umwandlungsprodukte** magmatischer und sedimentärer Gesteine in Abhängigkeit vom Metamorphosegrad. Bisweilen ist das Ausgangsgestein im Namen eines metamorphen Gesteins wieder zu erkennen: Die aus magmatischen Gesteinen umgewandelten bekommen den Zusatz „Ortho“- , jene aus Sedimentgesteinen „Para“- , entsprechend unterscheidet man z.B. einen Ortho-Gneis und einen Para-Gneis.

4.1.2 Gefüge

Die Umwandlung der Gesteine erfasst die Mineral-Zusammensetzung und zugleich das **Gefüge**. Mit der Umwandlung der Kristalle geht häufig eine Vergrößerung einher, die „Blastese“ (= Sprossung), die oft nur einzelne Minerale erfasst. Die Kristalle wachsen entweder dreidimensional mit oder ohne Vorzugsrichtung, zweidimensional blattförmig oder eindimensional stängelig.

Das **Gefüge** metamorpher Gesteine ist poren- = lückenlos; es kann völlig regellos bzw. massig (= „granoblastisch“) sein wie etwa bei

Tab. 4 - 1: Gesteine in der Metamorphose: Umwandlungen verschiedener Ausgangsgesteine unter unterschiedlichen Druck- und Temperatur-Bedingungen [Quellen: Vinx, 2005, und viele andere; Zusammenstellung: Schroeder & Franz; Gestaltung: Schroeder]

		Ausgangsgestein						
		Peridotit	Gabbro	Granit	Tonstein	Sandstein	Kalkstein	
Metamorphosegrad	1 kbar							
	200°C							
	sehr gering	Serpentinit	keine deutlichen Umwandlungen		Tonschiefer	keine deutlichen Umwandlungen		V V V
	1,5 kbar							
	300°C							
	gering	Serpentinit	Grünstein, Grünschiefer	Ortho-Gneis	Phyllit	Quarzit	Marmor feinkörnig	
2 kbar								
550°C								
mittel	Serpentinit, Olivinfels	Amphibolit	Ortho-Gneis	Glimmerschiefer	Quarzit	Marmor mittelkörnig		
>7.5 kbar								
>650°C								
hoch		Amphibolit, Eklogit	Ortho-Gneis	Para-Gneis	Quarzit	Marmor grobkörnig	V V V	
		bei OH-Entzug Granulit						
		bei Teilaufschmelzung Migmatit						

Gestein (fett) als Naturwerkstein relativ häufig verwendet

Gestein (fett-kursiv) als Naturwerkstein relativ selten verwendet

Marmoren und Quarziten; je nach Mineralzusammensetzung können die gesprossenen Körner (=„Blasten“) eigene Kristallflächen oder völlig fremd bestimmte, verzahnte Grenzflächen entwickeln (Abb. 4.1.2.2 a). Wenn unterschiedliche Kristalle unterschiedliche Größen haben, kann ein porphyrtartiges Gefüge entstehen, d.h. einzelne große Körner, sogenannte **Porphyroblasten**, - oft in ihrer eigenen Kristallform - sind umgeben von feiner-körniger Grundmasse (Abb. 4.1.2.2 b).

Für viele metamorphe Gesteine ist die deutliche Parallel-Lage der Komponenten charakteristisch; sie wird als **Einregelung** oder **Foliation** bezeichnet.

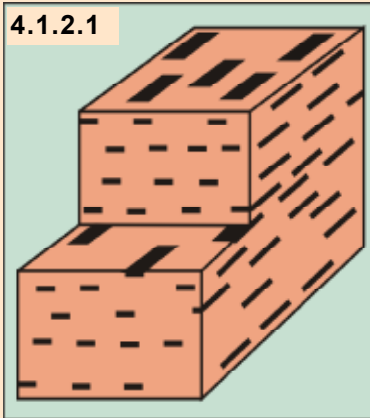


Abb. 4.1.2.1 Einregelung in einem metamorphen Gestein: Stängelige, tafelige (dieses Beispiel) oder quaderförmige Kristalle werden senkrecht zum Gesteinsdruck oder parallel zur Deformationsrichtung angeordnet. Die Schnittbilder auf den drei Seiten des Quaders unterscheiden sich deutlich; entsprechend erhält man unterschiedliche Dekore auf den einzelnen Schnittflächen des gleichen Gesteins. Prinzipskizze

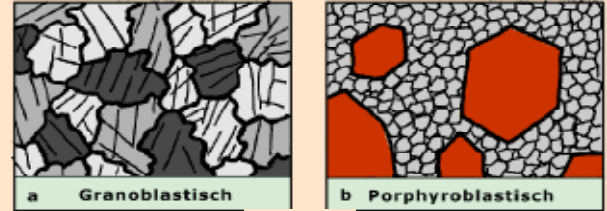
[Nach Richter, 1986; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]

Infolge der Einregelung sind die Schnittbilder - damit die Dekore - in verschiedenen Richtungen sehr unterschiedlich (s. Abb. 4.1.2.1). Die Einregelung ist auf Druckeinwirkungen zurückzuführen; der Druck wirkt senkrecht zu den Lagen.

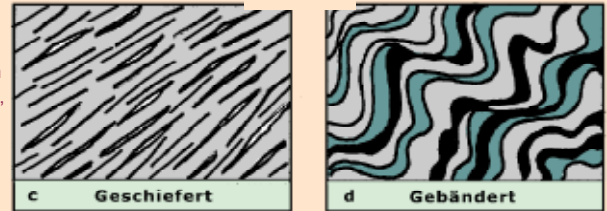
Man unterscheidet:

- **Schieferung** bei ebenen Flächen im Abstand von 0,1 - 1 cm; hier sind vor allem feinblättrige Schichtsilikate wie etwa Glimmer beteiligt .
- **Flaserung** bei welligen Einregelungen im Bereich von mm - cm
- **Bänderung** durch Lagen verschiedener Minerale im cm-Bereich, insbesondere bei Migmatiten.

Abb. 4.1.2.2 Gefüge in metamorphen Gesteinen



4.1.2.2

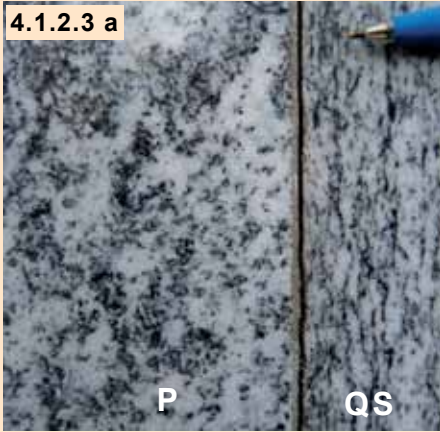


[Prinzipskizzen nach Langbein, 1981; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]

Die Erhöhung von Druck und Temperatur kann schließlich zur **Aufschmelzung** (= „Anatexis“) führen. Dabei werden zuerst die leicht schmelzenden Anteile von granitischer bis granodioritischer Zusammensetzung herausgelöst. Bei partiellen Schmelzen kann sich ein **Mischgestein** - „**Migmatit**“ genannt - bilden. Dieses erkennt man an der deutlichen Bänderung durch aufgeschmolzene und nicht aufgeschmolzene Anteile.

Abb. 4.1.2.3 Beispiele metamorpher Gesteine

4.1.2.3 a



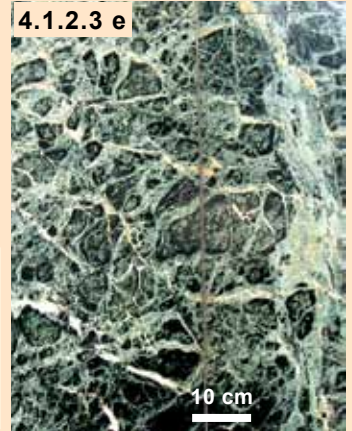
<< Abb. 4.1.2.3 a
Serizzo Antigorio, Gneis,
(Karbon/Perm, Italien)
Koblenz, Schloßstr. 25
Fassade, **P** - Plattenfläche,
QS - Querschnitt zeigt senkrechte Einregelung der Minerale

4.1.2.3 c



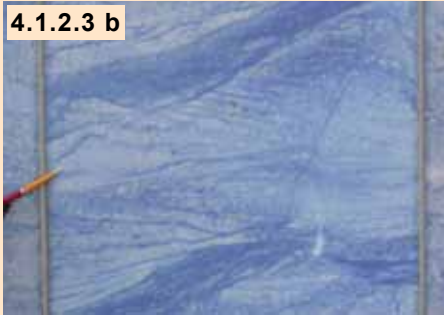
<<Abb. 4.1.2.3 c
Arabescato, Marmor
(U Jura, Italien)
Berlin, TU-Architekturgebäude

Abb. 4.1.2.3 e >>
Verde Alpi, Serpentinitt;
(Kreide, Italien)
Hamburg, Jungfernstieg 38



40

4.1.2.3 b



<< Abb. 4.1.2.3 b
Azul do Macaubas, Quarzit (Präkambrium, Brasilien)
Magdeburg, Breiter Weg 7
Abb. 4.1.2.3 d >>
Harzer Dachschiefer
(M Devon)
Goslar, Schilderstraße 8

Abb. 4.1.2.3 f **Multicolor Red, Migmatit** (Präkambrium, Indien); Tübingen, Lustnauer Tor 3

[Alle Fotos: Schroeder].

4.1.2.3 d



4.1.2.3 f



4.2 Kontakt-Metamorphose

Für Naturwerksteine ist auch die **Kontakt-Metamorphose** wichtig: Beim Aufsteigen einer magmatischen Schmelze wird am äußeren Kontakt das durchdrungene Gestein („Nebengestein“) bei gleichbleibendem Druck erhitzt und verändert. Die Temperatur und damit die thermische Wirkung, d.h. die Intensität der Umwandlung des Gesteins, nehmen mit der Entfernung vom Kontakt ab. Die Dimensionen der betroffenen Gesteinskomplexe betragen meist nur hunderte von Metern bis etliche Kilometer. Zusätzlich zur thermischen Wirkung spielen Stoffzufuhr und -abfuhr direkt am Kontakt eine Rolle. Die Deformation ist meist sehr gering.

Ein klassisches Beispiel für derartige Umwandlungen an einem Kontakt ist der **Theumaer Fruchtschiefer** aus Sachsen (Abb. 4.2 a, b, c).

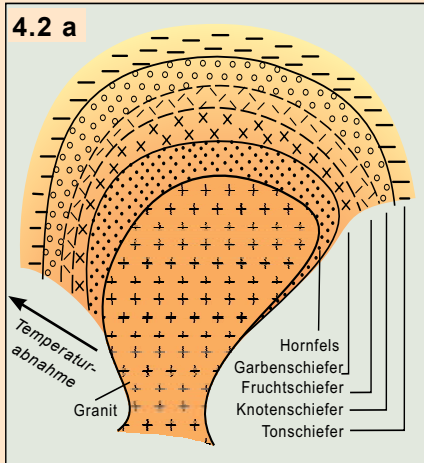
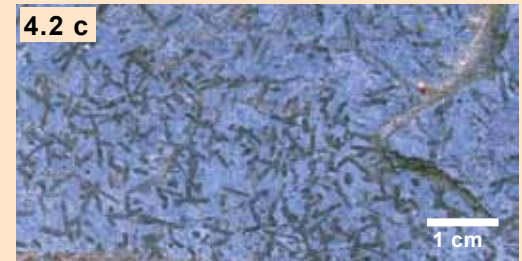
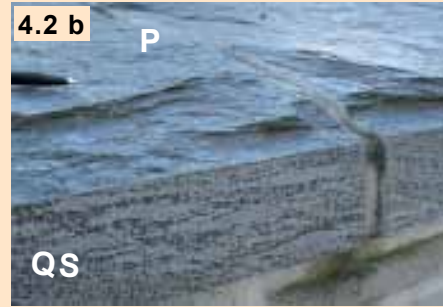


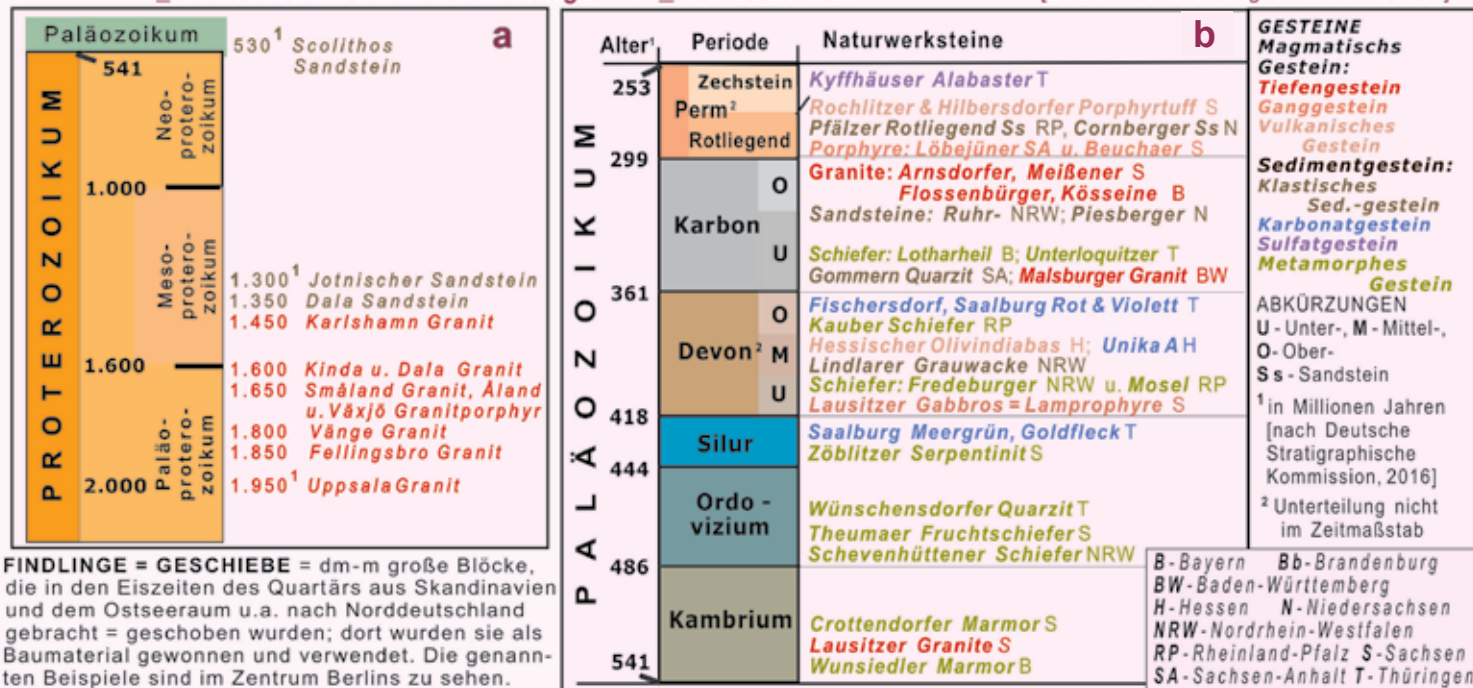
Abb. 4.2 a Umwandlung am Kontakt = Kontakt-Metamorphose: Zonen unterschiedlicher Gesteine entstehen beim Auf- und Eindringen eines Tiefengesteins. Auf diese Weise entstand aus einem ordovizischen Tonstein, der bereits in einen Tonschiefer umgewandelt worden war, beim Aufdringen des **Bergener Granits** im Karbon der **Theumaer Fruchtschiefer**

Die Breite der gesamten Kontaktzone variiert; z.B. beim **Bergener Granit** beträgt sie ca. 3 - 5 km.

[Vereinfachtes schematisches Profil nach Langbein, 1981; Beitrag: Schroeder; Gestaltung: Dunker]

Abb. 4.2 b u. c Theumaer Fruchtschiefer (Nahaufnahmen) **b** An dem (Säge-)Schnitt (QS) - orientiert senkrecht zur Schieferung - sieht man die **Cordierit**-Kristalle mehrheitlich als schwarze Punkte; auf der Deck- = Plattenfläche (P) sieht man die Schieferung, z.T. angebrochen. **c** Auf einer Bruch-Fläche +/- parallel zur Schieferung erkennt man die **Cordierit**-Kristalle in Form von Getreidekörnern = „Früchten“ (daher der Name) [Fotos: Schroeder]

Abb. 5.1 Erdgeschichte: Abschnitte mit jeweiligen Naturwerkstein-Beispielen in Deutschland
 a Proterozoikum mit Findlingen / b Paläozoikum [Zusammenstellung: J. H. Schroeder]



42

Abb. 5.1 Erdgeschichte: Abschnitte mit jeweiligen Naturwerkstein-Beispielen in Deutschland
c Mesozoikum / d Känozoikum

[Zusammenstellung: Schroeder]

Alter ¹	Periode	Naturwerksteine	C	
66	Kreide	<i>Elbsandstein S; Ihrler Grünsandstein B</i> <i>Baumberger Kalkstein NRW, Anröchter</i> <i>Kalksandstein NRW, Heidelberg Ss N</i>		
				O
145	Jura ²	<i>Hils-, Obernkirchener Ss N</i>		
				U
202	Jura ²	<i>Kalksteine: Jura + Solnhofener B, Thüster N</i> <i>Dolomite: Wachenzeller B, Holzener N</i> <i>Portaer Ss N</i> <i>Holzmadener Schiefer BW</i> <i>Weißer Haus Breckzie B, Gemündaer Ss BW</i>		
				M
				U
253	Trias ²	<i>Keupersandsteine: B, BW, N, NRW</i> <i>Muschelkalk: B, Bb, BW, N, SA; Udelfanger Ss RP</i> <i>Buntsandsteine: B, BW, H, N, Rp, SA, T</i> <i>Bernburger Rogenkalk SA, Jenaer Alabaster T</i>		
				M
				U

Alter ¹	Periode	Naturwerksteine	d
0	Quartär ²	<i>Travertin: Cannstatter BW, Thüringer T</i> <i>Kalktuff: Pollinger & Bärenthal BW</i> <i>vulkan. Tuff: Ettringer & Weiberner RP</i> <i>Basaltlava: Mendiger, Plaidter RP</i> <i>Brannenburger Nagelfluh B</i> <i>Raseneisenstein Bb</i>	
2,6	Tertiär ²	<i>Londorfer Basaltlava H</i> <i>Hirschentanz Basalt B</i> <i>Gauinger Travertin & Böttinger Dunkel</i> <i>& Tengener Muschelkalk BW</i>	
66	Tertiär ²	<i>Trachyte: Selterser & Weidenhahner RP</i> <i>Drachenfels NRW</i> <i>Rheinhessischer Kalkstein RP</i>	

Herkunft nach Bundesland: **BW** - Baden-Württemberg,
B - Bayern, **Bb** - Brandenburg, **H** - Hessen, **N** - Niedersachsen,
NRW - Nordrhein-Westfalen, **RP** - Rheinland-Pfalz, **S** - Sachsen,
SA - Sachsen-Anhalt, **T** - Thüringen

Farbe der Namen nach Gesteinstyp: **Vulkanisches Gestein**; **Sedimentgesteine**: *Klastisches Gestein*
Karbonatgestein, Sulfatgestein;

U - Unter-, M - Mittel-, O - Ober-; Ss - Sandstein
¹in Millionen Jahren nach Deutsche Stratigraphische
 Kommission, 2016

²Unterteilung nicht im Zeitmaßstab

Abb. 5.1.2 235 Naturwerksteine aus Deutschland verwendet an 32 Routen in 31 Städten* zugeordnet nach Alter und Gesteinstyp im Kreislauf der Gesteine [Zusammenstellung: Schirromeister & Schroeder]

Millionen Jahre ¹	Periode	Tiefen-gesteine	Gang-gesteine	Vulkan. Gesteine	Klastische Sediment-gesteine	Karbonat-Sediment-gesteine	Umwand-lungs-gesteine	Millionen Jahre ¹	Periode	Tiefen-gesteine	Gang-gesteine	Vulkan. Gesteine	Klastische Sediment-gesteine	Karbonat-Sediment-gesteine	Umwand-lungs-gesteine
253	Zechstein Perm ²							2,6	Quartär ²			5	1	6	
296	Rotliegend		5	8	4				Tertiär			10	2	3	
		32 6 4 **	1	1	4	1	2	66	Kreide	O			7	6	
	Karbon							U				3	1	3	
361	Devon ²	O		7	1	11	1 **	145	Jura ²	O				13	
		M			3	7		1		M					
418	Silur		2					202		U				1	
444	Ordo - vizium						3		Trias ²	O			20		
485	Kambrium	1					2			M			1	13	
541	Prä-kambrium ³							253		U			21	4	

U=Unter-, M=Mittel-, O=-Ober-
 1 Alter: Deutsche Stratigraphische Kommission (2016)
 2 Unterteilung nicht im Zeitmaßstab 3 Nur jüngster Teil
 *Schroeder, J. H., Hrsg.: **Steine in deutschen Städten**,
 Bd I: 2009 + Bd. II: 2013; Berlin (Geowissenschaftler in
 Berlin und Brandenburg); 288 S. + 238 S.

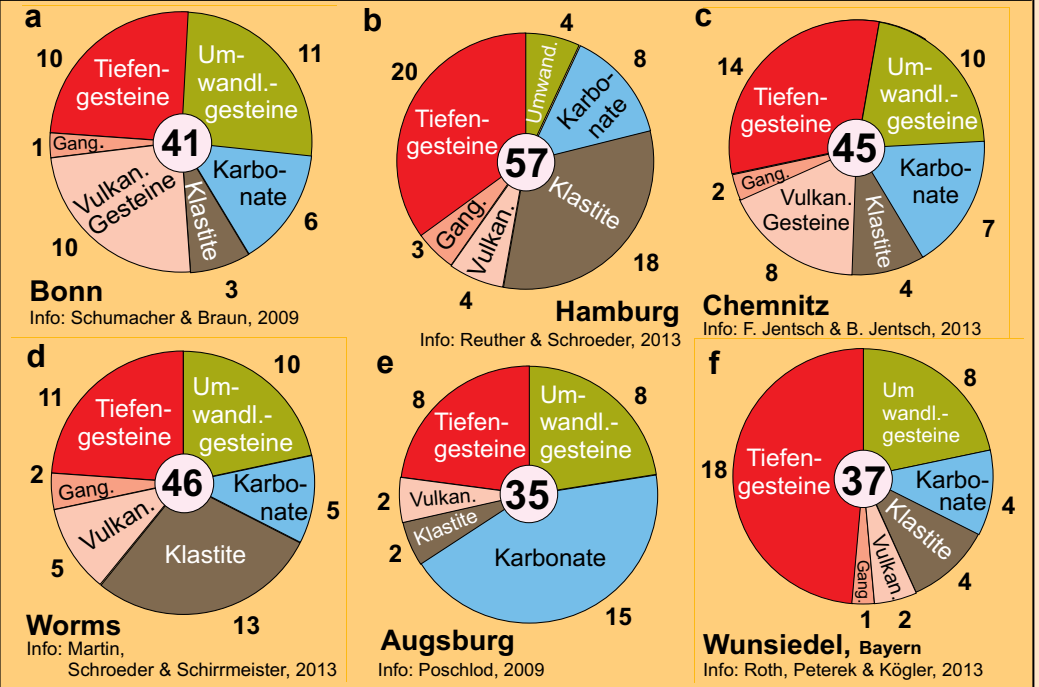
* Nicht genauer zuzuordnen

5.2 Wohin? Auswahl und Verwendung

Betrachtet man die Verwendung der Steine in den Städten, fällt auf, dass die Stein-Ensembles sehr unterschiedlich sind. In Abb. 5.2.1 sind die Gesteinstypen - wohlgermerkt: nicht die einzelnen Gesteine - aus sechs Städten einander gegenüber gestellt. Dafür wurden Informationen aus den Führern „Steine in deutschen Städten“ genutzt. Auf diese Weise werden die Unterschiede bereits gut sichtbar; jeweils komplette Bestandsaufnahmen und detailliertere Gesteinsbestimmungen würden die Differenzen noch wesentlich deutlicher machen.

Tabelle 5.2.1 (S. 46) zeigt: Die steinbezogenen geowissenschaftlichen Faktoren sind nur wenige unter vielen anderen wie technischen, ökologischen, logistischen, planerischen, architektonischen, denkmals-pflegerischen, wirtschaftlichen und politischen Faktoren, die in jedem Einzelfall Auswahl und Verwendung bestimmen. Entsprechend viele verschiedene Fachleute wirken zusammen bzw. reden mit. Steinerkunft und -qualität werden da bisweilen wenig oder gar nicht angemessen berücksichtigt.

Abb. 5.2.1 a - f Unterschiedliche Gesteinstypen in deutschen Städten - Beispiele
aus den Bänden „Steine in deutschen Städten“ Schroeder, 2009 und 2013
Zentrale Zahl: Steine auf der jeweiligen Führungsrouten; Zahlen am Rand: Vorkommende Steine
pro Typ; Größe der farbigen Kreisausschnitte: Anteile in Prozent [Zusammenstellung: Schroeder]



Tab. 5.2.1 Einflüsse auf Gewinnung und Einsatz von Naturwerksteinen

<p>Vor Ort: Im Herkunftsgebiet</p>	<p>Auf dem Weg: Zwischen Herkunfts- und Verwendungsgebiet</p>	<p>In der Stadt: Im Verwendungsgebiet</p>
<p>Technische Eigenschaften des Gesteins</p>	<p>Länge des Transportweges, Transportkosten</p>	<p>Konkurrenz mit anderen Naturwerksteinen bzw. mit Kunststeinen</p>
<p>Verfügbarkeit im Abbau</p>	<p>Entwicklung der Transportverbindungen zu Land (Straße, Eisenbahn) und zu Wasser (Kanäle, Flüsse)</p>	<p>Mode, Zeitgeschmack</p>
<p>Ökologische Grenzen bzw. ökologische Folgen des Abbaus</p>		<p>Entwicklung oder Entfallen von Nutzungsfeldern z.B. Pflasterung oder Dachdeckung</p>
<p>Entwicklung der Abbautechnik, z.B. Dampfmaschine, Spreng- und Sägetechnik</p>	<p>Grenzen aller Art, z.B. von Staaten, Zoll- und Wirtschaftssystemen</p>	<p>Entwicklung von Techniken der Bearbeitung und Montage</p>
<p>Personalkosten</p>	<p>N.B.: Viele Einflussfaktoren variieren von Ort zu Ort und an einem Ort im Laufe der Geschichte: Infolgedessen wurde in jeden Ort mit der Zeit ein spezielles Gesteinsensemble zusammen gekommen.</p> <p>[Beitrag: Schroeder]</p>	<p>Katastrophen z.B. Brände, natürliche oder kriegsbedingte Zerstörung</p>
<p>Regionale Wirtschaftsförderung, Arbeitsmarktpolitik, Entwicklungshilfe</p>		<p>Politische Ereignisse z.B. Inthronisation, Wiedervereinigung, Handelsembargo bzw. Handelsabkommen</p>
<p>Territoriale Zugehörigkeit</p>		<p>Klimatische Verhältnisse</p>

LITERATUR

Börner, K., Hill, D., 2014: Große Enzyklopädie der Steine (16. Aufl. Hasede (Abraxas) CD ROM *Internet: www.naturstein-datenbank.de*
Deutsches Institut für Normung e.V., 2001: Naturstein - Kriterien für die Bezeichnung - Berlin (Beuth Verl.) 90 S.

Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.; Red., Koord., Gestaltg.: Menning, M. & Hendrich, A.), **2016:** Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016 - Potsdam (GeoForschungsZentrum) 1 Tafel

Drozdowski, G., 1999: Gewinnungsstätten von Festgesteinen in Deutschland - Krefeld (Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen) 194 S. + Karte (Anlage)

Elicki, O., Breitzkreuz, C., 2016: Die Entwicklung des Systems Erde - Berlin (Springer Spektrum) 296 S.

Grimm, W.-D., 1990: Bildatlas wichtiger Denkmalsgesteine der Bundesrepublik Deutschland - Bayer. Landesamt f. Denkmalpflege, Arbeitsheft 50, 255 S. + 200 Gesteinsbeschreibungen u. -abb. (je 2 S.)

Helms, J., 1985: Die Botschaft der Steine - Berlin (Neues Leben) 316 S.

Hill, D., 2008: Taschenatlas Naturstein - Stuttgart (Ulmer) 188 S.

Huges, T., Steiger, L., Weber, J., 2002: Naturwerkstein - Gesteinsarten Details Beispiele - München (Inst. Internat. Architektur-Dokumentation, Edition Detail) 112 S.

Kaminske, V. 2008: Geologische Grundlagen - in: Unterrichts Geografie - Köln (Aulis Verl. Deubner), Bd. 18, 80 S. + CD

Maresch, W., Schentl, H. P., Medenbach, O., 2014: Gesteine - Systematik, Bestimmung, Entstehung (2. Aufl.) - Stuttgart (Schweizerbart) 359 S.

Müller, F., 1993: Internationale Natursteinkartei und **Müller, F., 1997:** Internationale Natursteinkartei Kompakt - Ulm (Ebner) - beide Karteien werden laufend ergänzt von R. Kögler; s. www.naturstein-online.de

Müller, F., 2012: Gesteinskunde (8. Aufl.) - Ulm (Ebner) 276 S.

Reuther, C.-D., 2012: Grundlagen der Tektonik - Kräften und Spannungen der Erde auf der Spur - Berlin (Springer Spektrum) 274 S.

Rothe, P., 2009: Erdgeschichte - Spurensuche im Gestein (2. Aufl.) - Darmstadt (Wiss. Buchgesellschaft) 248 S.

Rothe, P., 2010: Gesteine - Entstehung - Zerstörung - Umbildung (3. Aufl.) - Darmstadt (Wiss. Buchgesellschaft), 192 S.

Schroeder, J. H., 2003: Naturwerksteine - Vorkommen und Verwendung - in: Inst. f. Länderkunde, Hrsg.: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland - Heidelberg (Spektrum Akad. Verl.) S. 38 - 41

Schroeder, J. H., Hrsg., 1999 / 2006: Naturwerksteine in Architektur und Baugeschichte von Berlin (1./ 2. Aufl.) - Berlin (Geowissenschaftler in Berlin u. Brandenburg) 240 / 276 S.

Schroeder, J. H., 2006: Sedimentgesteine in Deutschland: Entstehung - Qualität - Naturstein 12/2006, S. 2 - 9

Schroeder, J. H., Asch, K., 2006: Naturwerksteine in Deutschland: Vorkommen und Geologie - Kartenbeilage zu Naturstein 12/2006

Schroeder, J. H., Hrsg., 2009: Steine in deutschen Städten - Berlin (Geowissenschaftler in Berlin u. Brandenburg) 288 S.

Schroeder, J. H., Hrsg., 2013: Steine in deutschen Städten II - Berlin (Geowissenschaftler in Berlin u. Brandenburg) 238 S.

Sebastian, U., 2011: Gesteinskunde - Ein Leitfaden für Einsteiger und Anwender (2. Aufl.) - Heidelberg (Spektrum Akad. Verl.) 166 S.

Spooner, A. M., 2016: Geologie für Dummies - Weinheim (Wiley-VCH Verl.) 376 S.

Tarback, E. J., Lutgens, F. K., 2009: Allgemeine Geologie (9. Aufl.) - München (Pearson Studium) 877 S.

Vinx, R., 2011: Gesteinsbestimmungen im Gelände (3. Aufl.) - Heidelberg (Spektrum Akad. Verl.) 469 S.

Walter, R., 2014: Erdgeschichte - Die Geschichte der Kontinente, der Ozeane und des Lebens (6. Aufl.) - Stuttgart (Schweizerbart) 363 S.

Weber, R., Hill, D., 2008: Naturstein für Anwender (4. Aufl.) - Ulm (Ebner) 277 S.



Abb. S 48.1 Tambourinschläger aus **Cottaer Sandstein** (Sachsen, Kreide) Skulptur am Kronentor des Dresdner Zwingers, ursprünglich von J. J. Kretschmar, 1718 - 1719; Kopie von A. Hähnel, 1998
[Foto: Schroeder]

DANK Der Kreislauf der Gesteine ist eine **wichtige Grundlage** für die Arbeit an/mit Steinen und für das Verständnis von Steinen. Einerseits hat er zentrale Bedeutung in der Ausbildung von Geowissenschaftlern: Ich hatte jahrzehntelang die Aufgabe, ihn Studierenden zu vermitteln. Andererseits dient seine Kenntnis sowohl Experten anderer Fachgebiete als auch interessierten Laien dazu, Beobachtungen oder Funde einzuordnen und zu verstehen; damit ist er wichtiges Element der Öffentlichkeitsarbeit.

Die vorliegende Version ist die neueste in einer Folge von ständig weiterentwickelten Darstellungen unter der Devise: „**Allgemein verständlich und wissenschaftlich fundiert!**“ Der Anfang wurde 1999 im Führer „Naturwerksteine in Architektur und Baugeschichte von Berlin“, weitere folgten 2006 in dessen 2. Auflage und einem Beitrag für die Zeitschrift „Naturstein“, danach in zwei Führern „Steine in deutschen Städten“ 2009 und 2013 jeweils mit korrigiertem Nachdruck. Die „**Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg**“ (e.V.) haben die gesamte Entwicklung bis zu diesem Beitrag organisatorisch und finanziell unterstützt.

Ich danke **vielen Kollegen**, vor allen den **Autoren** der herausgegebenen Werke für **Hinweise und Kritik**, insbesondere G. Schirrmeister und G. Franz, sodann den **Korrektoren**, speziell E. Bielefeldt, C. v. Engelhardt und M. Müller. B. Dunker gestaltete die **Grafiken** - meist mehrfach weiter entwickelte Versionen; B. Kleeberg half mit **Fotos**. Dank der fürsorglichen und geduligen **IT-Begleitung** von M. Thiel konnte ich Druck- und Internetvorlagen erstellen.
Ihnen allen gilt mein dankbares „Glück auf!“



Abb. S 48.2 Engel - Skulptur aus **Kyffhäuser Alabaster** (Thüringen, Zechstein); Teil der Kanzel in der St. Marien Kirche, Berlin, von A. Schlüter, 1702 - 1703
[Foto: Schroeder]

Stichwortverzeichnis zu Text und Abbildungen **Rot - Foto** --- **Schwarz: Text, Grafik, Tabelle**

Ab- und Aufschiebungen	35
Ablagerungsbereiche	
Klastika	15
Karbonate	25
Anatexis	39
Andesit	7
Amphibol	6
Amphibolit	38
Arabescato	40
Aquäduktkalkstein	2
Auberg Grau	25
Aufschmelzung	3
Azul de Macubas	40
Bänderung	39
Balmoral Red	9
Basalt	7
Basanit	7
Beuchaer Porphy	10
Biotit	6
Cannstatter Travertin	28
Dacit	7
Deformation	36
Diagenese	18
Diorit	7
Einregelung	39
Eklogit	38
Ereño Rojo	25
Erosionsrinne	18

Ettringer Tuff	13
Flaserung	39
Foidit	7
Foidolith	7
Foidsyenit	7
Foliation	39
Fossilien	23
Gestein	3
Glimmerschiefer	38
Gneis	38
Grabgang	17
Granit	7
Grünstein	38
Haardt Sandstein	35
Harzer Dachschiefer	40
Hessischer Olivindibas	12
Irlter Grünsandstein	28
Jenaer Alabaster	29
Kluft	35
Kompaktion	18
Kontakmetamorphose	37
Latit	7
Lava	12
Lausitzer Granodiorit	11
Lausitzer Lamprophy	11
Löbejüner Porphy	13

Marmor	38
Meeresspiegel	21, 32, 33
Metamorphose	37
Metamorphosegrad	38
Migmatit	38 / 39
Monzonit	7
Multicolor Red	40
Nagelfluh	18
Nebraer Sandstein	16
Nordhäuser Alabaster	29
Oberflächentemperatur	32
Ochsenkopf Proterobas	10
Olivin	8
Ooid	20
Orthoklas	6
Paläogeografie	30
Peridotit	7
Phonolith	6
Phyllit	38
Plagiodacit	7
Plagioklas	6
Pyroklast	12
Quarz	6
Quarzdiorit	7
Quarzit	21
Rheinische Basatlava	13
Rhyolith	7

Riff	24
Riffbauende Organismen	27
Rochlitzer Porphytuff	23
Roter Pfälzerwald Ss.	2
Schieferung	39
Sediment, klastisch	14
Sedimentstrukturen	14
Serizzo Antigorio	40
Serpentinit	38
Stalalite	29
Strukturgeolog. Aktivität	33
Sulfatgesteine	29
Syenit	7
Tephrit	7
Theumaer Fruchtschiefer	41
Thüringer Buntsandstein	17
Travertin	28
Travertino Romano	28
Verde Alpi	40
Wasserhaushalt	32
Wirbelauer Lahn"marmor"	25
Zement (Bindemittel)	18