

Minerale und Gesteine

1	Der Kreislauf der Gesteine	54
2	Minerale	55
	2.1 Die Kristallsysteme und Eigenschaften der Minerale	56
	2.2 Die gesteinsbildenden Minerale	57
3	Gesteine	62
	3.1 Magmatite	62
	3.2 Sedimentgesteine	66
	3.3 Metamorphite	69





Minerale und Gesteine

Durch die Abkühlung der Erde und die dabei erfolgte Differentiation (► Modul A „Planetensystem und Aufbau der Erde“) kam es zu einer Anreicherung der schweren Elemente im Inneren der Erde und der leichten Elemente im äußeren Bereich der Erdkugel. Dabei bildete sich die Erdkruste. Durch diese Anreicherung, insbesondere von Silizium und Aluminium, konnten sich die Silikate als wichtigste Bausteine der Gesteine der Erdkruste und des oberen Mantels bilden. Die Verschiedenartigkeit der Gesteine, wie wir sie heute an der Erdoberfläche finden, ist ein Produkt aus dem Zusammenspiel endogener und exogener geologischer Prozesse.

Das Modul stellt die wichtigsten Minerale und Gesteine vor und gibt einen Einblick in ihre Entstehungsgeschichte.

1 Der Kreislauf der Gesteine

Die drei Typen von Gesteinen (Sedimentgesteine, metamorphe und magmatische Gesteine) und die sie aufbauenden Minerale werden durch geodynamische Prozesse gebildet und umgewandelt. Die Prozesse sind Erosion, Transport und Sedimentation, Gesteinsmetamorphose und Aufschmelzung. Dadurch ergibt sich eine kontinuierliche Umgestaltung, eine Art Recycling des Geomaterials, die als Kreislauf der Gesteine bezeichnet wird.

Gesteine bilden sich hauptsächlich durch drei Vorgänge (➔ B1):

- durch Ablagerung von Feststoffen wie Sande, Tone oder Teilen von Organismen, sowie durch Abscheidung aus Lösungen (Sedimentgesteine);
- durch Umwandlung (Metamorphose) aus anderen Gesteinen, wobei diese Umwandlung durch erhöhten Druck und / oder erhöhte Temperatur verursacht wird (metamorphe Gesteine);
- durch Kristallisation aus magmatischen Schmelzen (magmatische Gesteine).

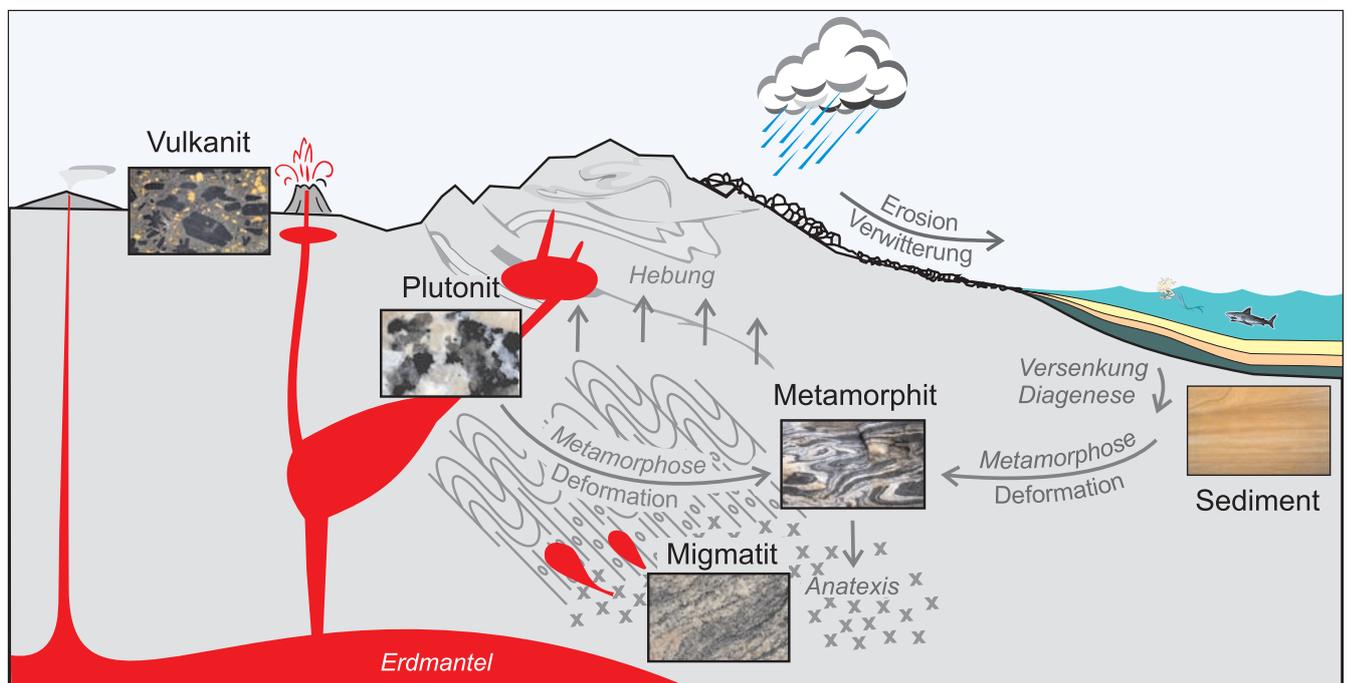
Neben diesen in und auf der Erde gebildeten Gesteinen gibt es einen kleinen Anteil von außerirdischen Gesteinen, die Meteorite, die aus dem Weltraum kommen und von der Gravitationskraft der Erde eingefangen wurden.

Alle Gesteine, die an der Erdoberfläche Verwitterungseinflüssen ausgesetzt sind, unterliegen der Erosion. Das betrifft nicht nur die ursprünglich an der Erdoberfläche gebildeten Sedimentgesteine und vulkanische Ablagerungen, sondern auch ehemals in der Kruste und im oberen Mantel gebildete me-

tamorphe Gesteine und aus Schmelzen auskristallisierte magmatische Gesteine. Die Verwitterungsprodukte werden als Sedimente abgelagert. Aus ihnen entstehen durch Verfestigung die Sedimentgesteine.

Werden diese Sedimentgesteine in große Tiefen versenkt, entstehen aus ihnen unter hohem Druck und hoher Temperatur metamorphe Gesteine. Auch aus magmatischen Gesteinen können sich unter solchen Bedingungen Metamorphite entwickeln.

Sedimentite, Magmatite oder auch Metamorphite können bei entsprechend tiefer Versenkung und der daraus resultierenden hohen Temperaturen aufgeschmolzen werden. Diese Aufschmelzung wird Anatexis genannt. Gesteine, die erste Anzeichen dieser Aufschmelzung zeigen, nennt man Migmatite. So bildet sich das Rohmaterial für die Entstehung neuer magmatischer Gesteine. Gebirgsbildungsvorgänge mit Hebung und Abtragung bringen diese Gesteine wieder an die Oberfläche und leiten einen neuen Kreislauf ein.



B1 | Der Kreislauf der Gesteine.

2 Minerale

Ein Mineral (Mehrzahl: Minerale oder Mineralien) ist ein natürlich vorkommender, anorganischer Feststoff mit einer bestimmten chemischen Zusammensetzung und einem gleichförmig strukturierten inneren Aufbau. Um als Mineral zu gelten, muss eine Substanz fest sein und in der Natur vorkommen. Synthetische Imitate, künstliche Diamanten oder von Chemikern entwickelte Laborprodukte gelten nicht als Minerale. Wenn es heißt, ein Mineral ist kristallin, meint man damit, dass die Atome in allen drei Raumdimensionen sich wiederholende Strukturen

bilden. Das Besondere an Mineralen ist die Kombination ihrer chemischen Zusammensetzung und der Anordnung ihrer Atome in einer Kristallstruktur (↗ Tabelle B1).

Feste Substanzen, die keine solche Struktur aufweisen, werden als gestaltlos (amorph) bezeichnet. Ein Beispiel dafür ist Glas, auch das natürlich vorkommende, das bei vulkanischen Eruptionen gebildet wird (z. B. Obsidian). Weitere Beispiele sind Feuerstein oder Achat, die durch Ausfällung aus übersättigten kieselsäurereichen (SiO_2 -reichen) Lösun-

gen entstehen. Dabei sammelt sich amorphes SiO_2 und bildet zunächst ein Netzwerk aus Silizium- und Sauerstoff-Atomen ohne geordnete Kristallstruktur. Beim Achat haben sich schon kleinste Kristalle gebildet, diese sind jedoch nur bei sehr hoher Vergrößerung (40.000-fach) erkennbar. Man bezeichnet den Achat deshalb als kryptokristallin.

2.1 Die Kristallsysteme und Eigenschaften der Minerale

Der geordnete Aufbau der Bestandteile (Kristallstruktur) bestimmt oftmals die äußere Form. So sind z. B. Steinsalz-Kristalle, die aus

gleichen Anteilen der Bausteine Natrium und Chlorid aufgebaut sind, würfelförmig (kubisch). Neben dieser kubischen Kristallsymmetrie gibt es, je nach Anordnung der beteiligten Bausteine, noch die weiteren rechtwinkligen Kristallsysteme tetragonal, hexagonal, trigonal und orthorhombisch sowie die schiefwinkligen Kristallsysteme monoklin und triklin. Es gibt insgesamt sieben Kristallsysteme (→ Tabelle B1). Alle Minerale (bis auf die amorphen) bilden nur Kristalle eines Kristallsystems aus, so dass das Kristallsystem ein wesentliches Merkmal für die Minerale ist. Bei vielen Mineralen ist im Falle einer eingestaltlichen Ausbildung (in der mineralogischen Terminologie als idiomorph bezeichnet) das Kristallsystem leicht erkennbar.

Durch einen Schlag mit einem Hammer lassen sich viele Minerale spalten. Diese Spaltbarkeit ist durch die Anordnung der Bausteine (Elemente, Ionen) eines Kristalls und ihrer Bindungsenergie bestimmt. So lassen sich z. B. in den Schichtsilikaten bestimmte Kristallflächen leicht voneinander spalten. In Quarz dagegen gibt es keine Kristallebenen, die sich leicht spalten lassen, und der Bruch ist unregelmäßig. Von den Kristall- und Spaltflächen wird das einfallende Licht reflektiert und dadurch glänzen diese Flächen. Kristalle, die das Licht nicht durchlassen, wie z. B. Erze, reflektieren die Lichtstrahlen auf ihren Kristallflächen sehr stark und glänzen metallisch.

Die Bildung der Minerale wird im Wesentlichen durch die Temperatur- und Druckverhältnisse bei ihrer Kristallisation gesteuert. So können Minerale gleicher Zusammensetzung eine unterschiedliche Kristallstruktur haben, je nachdem unter welchen Bedingungen sie wachsen konnten. Graphit und Diamant sind ein Beispiel für die unterschiedliche Ausbildung bei gleicher chemischer Zusammensetzung.

Minerale können bei gleicher Zusammensetzung eine unterschiedliche Färbung aufweisen. So ist ein Quarzkristall farblos (Bergkristall), wenn er nur aus Silizium und Sauerstoff besteht. Durch Einlagerung von Fremdatomen, z. B. Mangan und Titan, in das Kristall-

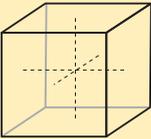
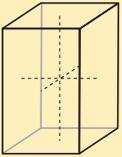
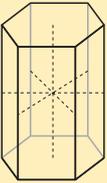
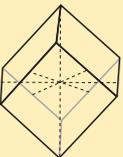
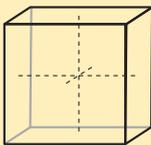
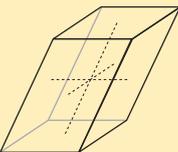
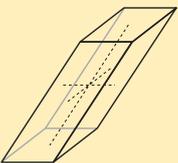
Kristallsystem	Beschreibung
	Kubische Kristalle: Ein Achsenkreuz mit drei senkrecht zueinander stehenden, gleich langen Achsen. Beispiele: Bleiglanz, Pyrit, Fluorit, Steinsalz
	Tetragonale Kristalle: Ein Achsenkreuz mit drei senkrecht zueinander stehenden Achsen, wovon zwei Achsen gleich lang sind und die dritte Achse verschieden lang ist. Beispiele: Kupferkies, Zirkon
	Hexagonale Kristalle: Die Hauptachse verläuft durch die Kristallspitzen unten und oben. Senkrecht zu dieser Achse stehen drei gleich lange Nebenachsen, welche sich im Winkel von jeweils 120° in einem Punkt schneiden. Beispiel: Apatit
	Trigonale Kristalle: Die Achsen verlaufen wie beim hexagonalen System, aber mit einer anderen Zentrierung. Dadurch ergeben sich Unterschiede in der Flächenkonfiguration. Gezeigt ist die rhomboedrische Aufstellung. Beispiele: Calcit, Quarz
	Orthorhombische Kristalle: Ein Achsenkreuz mit drei verschieden langen, senkrecht zueinander stehenden Achsen. Beispiel: Olivin
	Monokline Kristalle: Zwei Achsen stehen senkrecht zueinander, die dritte ist geneigt, alle drei Achsen sind verschieden lang. Beispiele: Gips, Biotit, Orthoklas
	Trikline Kristalle: Alle drei Achsen sind verschieden lang und gegeneinander geneigt. Beispiel: Plagioklas

Tabelle B1 | Die sieben Kristallsysteme.

gitter wird er rosa (Rosenquarz), bei Einlagerung von Mangan und Eisen violett (Amethyst). Durch Einschluss von Eisenoxiden wird der Quarz gelblich (Citrin).

2.2 Die gesteinsbildenden Minerale

Viele tausend Minerale sind bekannt, die meisten Gesteine werden jedoch aus lediglich etwa 30 Mineralen aufgebaut, die man als gesteinsbildende Minerale bezeichnet. Die Minerale können aufgrund ihrer chemischen Struktur bestimmten Mineralgruppen zugeordnet werden.



Künstliche Minerale

Gold und Edelsteine üben seit jeher eine große Faszination auf den Menschen aus und darauf beruht ihr Wert. Schon im Mittelalter versuchten die Alchimisten (► Modul G „Wissenschaftsgeschichte“) Edelsteine herzustellen, aber erst das Wissen über die Zusammensetzung und Struktur der Minerale lieferte die Voraussetzung für die Entwicklung von Methoden zu ihrer künstlichen Herstellung. So gelang es im 19. Jahrhundert erstmalig, Diamanten, Rubine und Smaragde zu „züchten“. Diamanten werden heute durch das sogenannte Hochdruck-Hochtemperatur-Verfahren industriell hergestellt. Dabei wird Graphit in einer hydraulischen Presse bei einem Druck von von bis zu 6 Gigapascal (60.000 bar) und Temperaturen von über 1500°C zusammengeschmolzen. Diese Diamanten werden in der Industrie für Bohrkronen (► Modul I „Außerschulische Lernorte“, Schülerlabor KTB) oder als Schleifmittel verwendet und als „Industriediamanten“ bezeichnet.

Exkurs

Einige wichtige Mineralgruppen und Minerale im Überblick:

Silikate	Oxide	Karbonate	Sulfide/Sulfate	Halogenide
Feldspat (1)	Magnetit (8)	Calcit (10)	Pyrit (12)	Steinsalz (15)
Quarz (2)	Hämatit (9)	Dolomit (11)	Bleiglanz (13)	Fluorit (16)
Glimmer (3)			Gips (14)	
Kaolinit (4)				
Olivin (5)				
Pyroxen (6)				
Andalusit (7)				

Tabelle B2 | Beispiele für Mineralgruppen und zugehörige Minerale.

Hinweis: Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf die Nummerierung in den Tafeln Ia–Ie.

Silikate

Minerale in den Krustengesteinen bestehen hauptsächlich aus den Elementen Sauerstoff, Silizium sowie Aluminium und bilden vor allem die Silikate. Das wohl bekannteste Silikatmineral ist der Quarz (SiO₂). Obwohl chemisch ein Oxid, ist er aufgrund seiner Kristallstruktur den Silikaten zuzurechnen. Die häufigsten Minerale mit einem Anteil von 60–65 Vol. % an der Erdkruste sind jedoch die Feldspäte. Bei ihnen ist ein Teil des Siliziums (Si) durch Aluminium (Al) ersetzt, wodurch sich negativ geladene Ionen (Anionen) erge-

ben. Das so entstandene Ladungsungleichgewicht wird durch die positiv geladenen Kationen Kalium (K), Natrium (Na) und Calcium (Ca) ausgeglichen.

In den Gesteinen des Erdmantels haben die Minerale dagegen bevorzugt Eisen (Fe) und Magnesium (Mg) als Kationen, wie im Olivin oder Pyroxen. Silikate bilden oft Mischkristalle, hier sind als Kationen verschiedene Elemente eingebaut, wie Kalium und Natrium im Feldspat oder Eisen und Magnesium im Olivin.

Tafel Ia | Silikate

Nr.	Minerale	Beschreibung und Entstehung
1		<p>Feldspäte sind Mischkristalle: Alkalifeldspäte aus Orthoklas (KAlSi_3O_8) und Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Plagioklase aus Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) und Anorthit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Feldspäte kristallisieren entweder im monoklinen oder im triklinen Kristallsystem.</p> <p>Vorkommen: In Magmatiten, z. B. Granit, Basalt. Das Beispiel zeigt einen Karlsbader Zwilling, ein Alkalifeldspat.</p> <p>Verwendung: keramische Industrie, in Seife und Scheuermitteln</p>
2		<p>Quarz, SiO_2, ist die auf der Erdoberfläche stabile Modifikation des Siliziumdioxids. Er kristallisiert bei der Abkühlung von Schmelzen mit hohem Anteil an Silizium und ist primärer Bestandteil von Plutoniten.</p> <p>Vorkommen: Quarz ist in vielen metamorphen Gesteinen enthalten und wird über zahllose Mineralreaktionen während der Metamorphose abgebaut oder gebildet. Wegen seiner Härte und Verwitterungsbeständigkeit (wird nur von Flusssäure chemisch gelöst) ist Quarz weit verbreitet in sedimentären Gesteinen wie Sandsteinen zu finden.</p> <p>Verwendung: Glasindustrie</p>
3		<p>Glimmerminerale sind schichtig aufgebaute Silikate. Si und O bilden hier Schichtpakete, zwischen denen nur schwache Bindungskräfte wirken und die damit leicht spaltbar sind. Es gibt K- und Al-reiche Glimmer (Hellglimmer) sowie Fe- und Mg-reiche Glimmer (Dunkelglimmer).</p> <p>Muskovit (Hellglimmer), $\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2]$, ist meist farblos durchsichtig bis durchscheinend, manchmal gelblich bis bräunlich.</p> <p>Biotit (Dunkelglimmer), $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{OH,F})_2[(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}]$, bildet durchscheinende bis undurchsichtige Kristalle mit Perlmuttglanz.</p> <p>Vorkommen: Beide Glimmer kommen in Magmatiten und kristallinen Schiefen (Metamorphiten) vor. Bei der Erosion von magmatischen und metamorphen Gesteinen bilden sich kleine Glimmerschüppchen, die in der Folge auch in Sedimentgesteinen eingebettet werden können.</p> <p>Verwendung: Farb- und Putzzusatz, Isoliermaterial in der Elektroindustrie, für Schalldämmstoffe, Füllstoff (z. B. Papier, Spachtelmasse)</p>
4		<p>Kaolinit, $\text{Al}_4[(\text{OH})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})]$, ist ein Schichtsilikat, das insbesondere bei der Verwitterung entsteht. Es besteht aus submikroskopischen, blättrigen Kristallen und wird durch Wasseraufnahme plastisch verformbar.</p> <p>Vorkommen: Kaolinit ist zumeist Bestandteil der Feinfraktion ($< 2 \mu\text{m}$) eines Sediments. Das Mineral ist allgegenwärtig in den Al-reichen Böden feuchtwarmer Regionen und ein typisches Produkt der chemischen Verwitterung von Mineralen der Feldspat-Gruppe.</p> <p>Verwendung: Porzellanindustrie</p>
5		<p>Olivin, $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe von Silikat-Mineralen, in denen Eisen und Magnesium in beliebigem Verhältnis zueinander auftreten können, die also Mischkristalle bilden.</p> <p>Die orthorhombischen Kristalle sind meist prismatisch oder tafelig.</p> <p>Vorkommen: Olivin in eine Hauptbestandteil vieler mafischer und ultramafischer Magmatite.</p> <p>Verwendung: Zuschlagstoff bei der Herstellung von Eisenerzpellets</p>

Beschreibung und Entstehung	Minerale	Nr.
<p>Pyroxene sind eine Gruppe von gesteinsbildenden Silikatmineralen der komplexen chemischen Zusammensetzung $X_2Si_2O_6$ (X steht für eines der Elemente Na, Li, Mg, K, Fe, Mn, Ti, Zn oder Al). Die typische Kristallform von Pyroxenen sind kurze Prismen. Erkennbar sind Pyroxene oft an ihren Spaltebenen, die sich unter einem Winkel von etwa 90° schneiden.</p> <p>Vorkommen: Pyroxene kommen sowohl in basaltischen Gängen und Intrusionen als auch in Metamorphiten gesteinsbildend vor.</p> <p>Verwendung: Aus dem grünen Jadeit (Na-Pyroxen) wurden in der Steinzeit Äxte und Speerspitzen gefertigt.</p>		6
<p>Al_2SiO_5 Minerale (Andalusit, Disthen, Sillimanit) haben unterschiedliche Kristallstruktur und Dichte (Modifikation), da sie bei verschiedenen Temperaturen und Drücken entstanden sind. Andalusit (orthorhombisch) entsteht bei niedrigen Drücken (< 4 kbar), während Disthen (triklin) sich bei höheren Drücken bildet. Sillimanit (orthorhombisch) ist typisch für Gesteine, die während ihrer Entwicklung hohen Temperaturen ($> 500^\circ C$) ausgesetzt waren. Dargestellt ist ein Disthen.</p> <p>Vorkommen: Die Minerale bilden sich bei der Metamorphose von aluminiumreichen Gesteinen (z. B. Sedimentgesteine).</p> <p>Verwendung: zur Herstellung hitzeresistenter Keramikprodukte</p>		7

Oxide

Sie haben einen Anteil von ca. 5 % an der Masse der Minerale. Quarz wird nicht zu den Oxiden gerechnet, sondern ist ein Silikat! Es kommen als Minerale insbesondere einfache Oxide (nur Sauerstoff als Anion) oder auch Hydroxide (Sauerstoff und Wasserstoff als Anion) vor. Hydroxide entstehen v. a. an der Erdoberfläche, in Verwitterungs- und Oxi-

dationszonen (z. B. das Eisenhydroxid Goethit) sowie bei submariner Sedimentation. Wirtschaftlich besonders wichtig sind Eisen- und Manganoxide bzw. -hydroxide, die in Lagerstätten auf den Kontinenten, aber auch als Abscheidungen auf dem Meeresboden (Manganknollen) zu finden sind.

Tafel Ib | Oxide

Beschreibung und Entstehung	Minerale	Nr.
<p>Magnetit (Magneteisen), Fe_3O_4, ist ein Eisenoxid mit einem matten Metallglanz. Er hat eine schwarze Eigenfärbung. Magnetit wird z. B. bei der Kristallisation von magmatischen Gesteinen gebildet. Es ist eines der am stärksten magnetischen Minerale.</p> <p>Vorkommen: Kleinste Magnetit-Kristalle finden sich in einigen Bakterien sowie in Gewebe oder Sinnesorganen vieler Tiere. Sie werden z. B. von Brieftauben oder Zugvögeln zur Orientierung im Erdmagnetfeld genutzt. Dabei „misst“ ihr Magnetsinn den Winkel zwischen der lokalen Richtung der Magnetfeldlinien und der Vertikalen.</p> <p>Verwendung: Eisenerz für Eisen- und Stahlherstellung</p>		8
<p>Hämatit (Eisenglanz, Roteisenstein, Roter Glaskopf), Fe_2O_3, ist rotbraun, stahlgrau oder schwarz. Der Abrieb des Minerals ist ein charakteristisches Blutrot, von dem sich der Name ableitet.</p> <p>Vorkommen: Hämatit kommt sowohl in sedimentären Lagerstätten als auch in Magmatiten vor. Er bildet sich auch häufig bei der Oxidation von Magnetit und anderen eisenreichen Mineralen, z. B. während der Verwitterung. Nur geringe Beimengungen führen zur einer charakteristischen Rotfärbung, z. B. von Sedimentgesteinen (Buntsandstein und Rotliegendes).</p> <p>Verwendung: neben Magnetit das wichtigste Eisenerz</p>		9

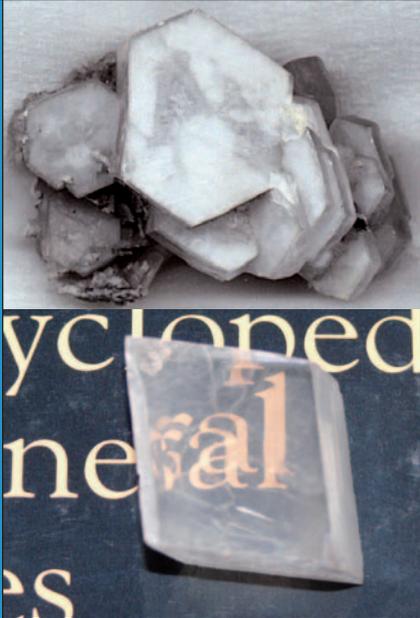
Karbonate

CaCO_3 ist das häufigste Karbonat und kommt in der Natur in drei Modifikationen vor: Calcit, Aragonit und Vaterit. Calcit (trigonal) ist die am meisten vorkommende und stabilste Form. Aragonit (rhombisch) ist insbesondere die Bausubstanz für Schalen- und Muscheltiere. Vaterit ist eine kugelförmige Variante mit geringer Stabilität.

Neben dem Calcium-Karbonat kommen auch Calcium-Magnesium-Karbonat (Dolomit) und

Eisen-Karbonat (Siderit) oder Calcium-Eisen-Karbonat (Ankerite) vor. Karbonate entstehen hauptsächlich durch Ausfällung aus übersättigten Lösungen und füllen oftmals Spalten und Risse in Gesteinen. Sie können auch magmatischen Ursprungs sein und bilden Hauptgemengteile der Karbonatite, spezielle vulkanische Gesteine in kontinentalen Riftsystemen (z. B. Ostafrikanischer Graben oder Kaiserstuhl im Rheingraben).

Tafel 1c | Karbonate

Nr.	Minerale	Beschreibung und Entstehung
10		<p>Calcit (Kalkspat, Kalzit)</p> <p>Die trigonalen Kristalle entwickeln sehr unterschiedliche Formen. Calcit ist meistens entweder farblos oder milchig-weißgrau, kann aber durch Verunreinigungen sehr verschiedene Farben annehmen (z. B. gelb, rosa, rot, blau oder schwarz). In klaren Kristallen ist eine optische Eigenschaft der Kristalle deutlich sichtbar, eine Doppelbrechung des Lichtes. Daher nennt man diese Calcite auch Doppelspat. Beim Auftreffen geht ein Teil des Lichtstrahls weiter durch den Kristall, ein Teil wird durch das Kristallgitter abgelenkt, der Lichtstrahl wird „gebrochen“. Wenn wir durch den Kristall hindurchsehen, entstehen so zwei Abbildungen einer Linie.</p> <p>Vorkommen: Durch Ausfällung aus Calciumkarbonatlösungen in unterschiedlichen geologischen Szenarien (z. B. Kalkschalen von Fossilien, Gangmineralisationen).</p> <p>Verwendung: Zement- und Bauindustrie, Kunstdünger</p>
11		<p>Dolomit (Bitterspat, Braunspat), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, bildet einzelne Kristalle oder massige Mineralaggregate (Ansammlungen) von weißgrauer bis hellbrauner Farbe.</p> <p>Vorkommen: Er bildet sich durch Wechselwirkung von magnesiumhaltigen Lösungen mit calcitischen Gesteinen aus dem Calcit (Dolomitisierung). Weiterhin kann er bei bestimmten Bedingungen aus dem Meerwasser ausfallen (Evaporit).</p> <p>Verwendung: als Stein zum Verbauen, gemahlen als Dünger, pulverisiert als Scheuermittel</p>

Sulfide/Sulfate

Schwefel bildet das zweifach negativ geladene Sulfid-Anion S^{2-} , das zusammen mit Metall- oder Halbmetall-Kationen viele verschiedene Sulfid-Minerale (ca. 600) bilden kann. Weiter kommen Schwefelverbindungen als Sulfate vor. Hier werden Kationen mit relativ

großem Ionenradius (Ba, Pb, Ca) eingebaut. Bekannt ist neben dem Gips als Calcium-Sulfat der Baryt, das Barium-Sulfat, aufgrund seiner hohen Dichte von $4,5 \text{ g/cm}^3$ auch Schwerspat genannt.

Tafel Id | Sulfide/Sulfate

Beschreibung und Entstehung	Minerale	Nr.
<p>Pyrit (Schwefelkies), FeS_2. Der metallische Glanz und die goldene Farbe brachten ihm den Beinamen „Katzengold“ ein.</p> <p>Vorkommen: Pyrit ist das am meisten verbreitete Sulfidmineral und Bestandteil der meisten Sulfidlagerstätten. Auch in hydrothermalen Gesteinen tritt er häufig auf. Werden Tierleichen in stagnierenden, sauerstofffreien schlammigen Milieus eingebettet, so können deren Weichteile partiell in Pyrit umgewandelt werden. Deshalb ist es dann auch in Sedimentgesteinen zu finden.</p> <p>Verwendung: War früher wichtig für die Schwefelsäureherstellung, aus den Rückständen wurde Eisen gewonnen. Schwefelsäure wird heute aus der Entschwefelung von Mineralölprodukten oder Kohlekraftwerken gewonnen.</p>		12
<p>Bleiglanz (Galenit), PbS, ist ein weit verbreitetes Sulfid.</p> <p>Die kubischen Kristalle haben meist Würfelform, eine bleigraue Farbe und einen metallischen Glanz.</p> <p>Vorkommen: Bleiglanz bildet sich in metamorphen Gesteinen genauso wie in vulkanischen Sulfidlagerstätten. Daneben kommt es auch in Riffkalken und Dolomitgesteinen vor.</p> <p>Verwendung: Wichtigstes Erz zur Gewinnung von Blei (für Batterien, Elektrotechnik) und wegen seines Silbergehalts (bis zu 1 %) auch wichtiges Silbererz.</p>		13
<p>Gips, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, ist ein farbloses bis weißes Sulfat.</p> <p>Vorkommen: Das Mineral Gips kommt sowohl in großen Mineralen als auch in feinkörniger Form oder auch massig vor. Die Färbung schwankt auf Grund von Verunreinigungen zwischen farblos, weiß, gelb, rot bis hin zu dunkelgrau. Besonders reiner Gips wird als Alabaster bezeichnet, feinfaseriger als Fasergips. Durchsichtige Kristalltafeln sind auch als Marienglas bekannt. In Trockengebieten entstandene rosettenartige Gipse werden „Wüstenrosen“ genannt.</p> <p>Verwendung: Bauelemente (z. B. Gipskartonplatten)</p>		14

Halogenide

Die Elemente der Halogengruppe F, Cl, Br und I bilden in der Natur Minerale in Form von Fluoriden, Chloriden, Bromiden und Iodiden,

die Halogenide (griech. *halogen* = Salzbildner) genannt werden. Wichtige Bedeutung haben die Natrium- und Kalisalze.

Tafel Ie | Halogenide

Beschreibung und Entstehung	Minerale	Nr.
<p>Steinsalz (Halit), $NaCl$, ist farblos oder hat eine variable, oft durch Eisenoxide hervorgerufene braune, seltener auch blaue Färbung.</p> <p>Vorkommen: Steinsalz tritt in massiger oder körnig-kristalliner Form in Sedimentgesteinen auf. Es bildet sich hauptsächlich durch das Austrocknen von salzreichen Meeren und ist in den dabei entstehenden Ablagerungsschichten (Evaporite) mit anderen wasserlöslichen Mineralen wie Gips und Anhydrit vergesellschaftet.</p> <p>Verwendung: Industriesalz, Speisesalz</p>		15
<p>Fluorit (Flussspat), CaF_2, bildet kubische Kristalle mit sehr wechselhafter, oft violetter oder grüner Farbe. Ein besonderes Merkmal ist die häufig anzutreffende Fluoreszenz unter ultraviolettem Licht.</p> <p>Vorkommen: Fluorit findet man oft in Gängen im Dach- und Randbereich eines Granits. Hier haben sich bei Abkühlung des Magmas flüssige und gasförmige Bestandteile aus der Granitschmelze angereichert und Elemente, die nicht in die Kristalle der Granite eingebaut werden, bilden hier eigenständige Minerale aus.</p> <p>Verwendung: Flussmittel für Stahl- und Gusseisenherstellung</p>		16

Heilsteine

Heilsteine sollen angeblich bei Krankheiten eine heilende Wirkung haben oder das generelle Befinden verbessern. Die im Handel angebotenen Produkte sind vielfältig.

Unter dem Begriff Heilsteine werden vor allem Minerale und amorphe Gesteine wie Achat und Obsidian angeboten. Nach einem Urteil des Landgerichtes Hamburg (21. 8. 2008, Az.: 327 o 204/08) ist die Bezeichnung „Heilstein“ beim Ver-

kauf dieser Produkte nicht zulässig. Es sei irreführend, bestimmten Steinen krankheitslindernde und/oder krankheitsheilende Wirkung zuzuschreiben, obwohl es keinerlei Anhaltspunkte dafür gebe, dass die sog. „Heilsteine“ heilende Wirkung entfalten.

Personen, die an eine Wirkung von Heilsteinen glauben, gehen davon aus, dass eine elektromagnetische Umgebungsstrahlung („Qi“, „Bioplasma“) an Kristallgittern gebündelt oder gestreut wird bzw. eine andere Polarisationssebene erhalten und somit eine andere Wirkung auf den Körper hat. Allerdings besitzen nicht alle als Heilsteine angebotene Produkte ein Kristallgitter. Der Bereich, der diesen Effekt abdeckt, wird mit einem an Wissenschaftlichkeit angelehnten Terminus als Radiästhetik (Strahlenheilkunde) bezeichnet. Viele der angepriesenen Wirkungen lassen sich sehr einfach als fragwürdig erkennen, weil sie simplen physikalischen Gesetzen widersprechen.

Auf eine eindeutige physikalische Eigenschaft, nämlich dem Wärme-

speicherungsvermögen, beruht dagegen die Verwendung von Steinen in der Heilmassage.

Allerdings gibt es glaubhafte Berichte, dass bestimmte Beschwerden durch die Anwendung von Heilsteinen zurückgingen („Rosenquarz neben dem Computer reduziert Augenreizungen“). Eine solche Wirkung kann nur aus zwei Effekten resultieren: Dies ist zum einen die Ästhetik (Farbe, Oberflächenbeschaffenheit etc.), die eine positive Wirkung auf die Psyche ausübt, oder aber es handelt sich um einen simplen Placebo-Effekt. Beides sind psychologische Effekte, die prinzipiell eine Bereitschaft des Anwenders voraussetzen. Wesentlicher Antrieb für die aktuelle Popularität ist die Hoffnung der Menschen auf Heilung von Krankheiten, für die in der Schulmedizin keine Lösung gefunden wird. Im Vergleich zu anderen Heilmethoden besteht allerdings der Vorteil, dass Heilsteine keinen Schaden anrichten, solange nicht auf notwendige schulmedizinische Behandlung verzichtet wird.



B2 | Steine und Mineralien werden in vielen Farben und Größen angeboten.

3 Gesteine

Gesteine bestehen aus verschiedenen Mineralen (polymineralisch) oder nur aus einer einzigen Mineralart (monomineralisch). Die am häufigsten vorkommenden Minerale eines Gesteins heißen Hauptgemengteile. Solche, die mit einem geringeren Anteil vertreten sind, werden Nebengemengteile, selten auftretende Akzessorien genannt. Nach ihrer Entstehung unterscheidet man drei Hauptgruppen: Magmatite, Sedimentgesteine und Metamorphite.

3.1 Magmatite

Magmatische Gesteine (griech. *magma* = geknetete Masse) entstehen durch Kristallisa-

tion aus Gesteinsschmelzen. Diese Schmelzen entstehen in großen Tiefen der Erdkruste oder im oberen Erdmantel. Beim Aufstieg und Abkühlen des Magmas bilden sich Kristalle. Wenn dieser Vorgang langsam genug erfolgt, wie beim Abkühlen in der Erdkruste, haben die Kristalle genug Zeit (mehrere tausend bis hunderttausend Jahre), um mehrere Millimeter bis hin zur Größe von mehreren Zentimetern zu wachsen, und es entsteht ein mittelkörniges bis grobkörniges magmatisches Gestein (Plutonit). Magma, das entlang von Bruchzonen der Erdkruste aufsteigt und nahe der Erdoberfläche erstarrt (Ganggesteine) oder sogar als glutflüssige Schmelze (Lava) zu Tage tritt, erstarrt schnell, in Tagen bis Wo-

chen. Es bilden sich hier gleichzeitig viele kleine Kristalle, und es entsteht ein feinkörniges Gestein. In dem Magma gelöstes Gas entweicht und bildet viele Blasen im Gestein. Bei plötzlichem Abkühlen reicht die Zeit nicht zum Ausbilden kleiner Kristalle, und die Gesteinsmasse wird zu einem Glas abgeschreckt. Vulkanite sind Gesteine, die aus Magma entstanden sind, das an der Erdoberfläche erstarrt ist. Hierzu gehören auch die Pyroklastika (griech. *pyros* = Feuer, *clasis* = zerbrechen), also ausgeworfenes vulkanisches Material. Auf Grund der raschen Abkühlung erstarren die Partikel bereits im Flug und erreichen den Erdboden als vulkanisches Glas oder als kleine Kristalle und Kristallagregate, so dass sie gewissermaßen als Sediment abgelagert werden. Man spricht dann von vulkanischer Asche, sofern es sich um unverfestigtes Material handelt. Verfestigte Aschen werden als Tuffe bezeichnet.

Gefügevariationen in Magmatiten und ihre Bedeutung:

- Grobkörniges Gefüge (grobkristallin): langsame Abkühlung → Plutonite
- Feinkörniges Gefüge (feinkristallin): schnelle Abkühlung → Vulkanite
- Glasiges Gefüge (amorph oder mikrokristallin): extrem schnelle Abkühlung, z. B. Obsidian
- Porphyrisches Gefüge (große idiomorphe Kristalle in mikrokristalliner Grundmasse): zunächst langsame Abkühlung in der Magmenkammer und dann schnelle Abkühlung während der Eruption
- Blasiges Gefüge: Druckentlastung von gasreichen Magmen – Extremfall: Gesteins-„schaum“ = Bims

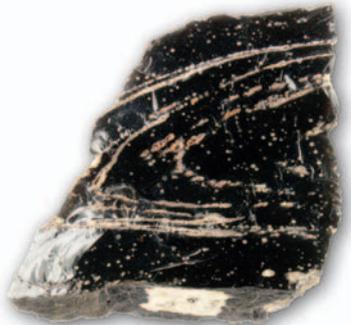
Einige wichtige Gesteinsgruppen und Gesteine im Überblick:

Magmatite entstehen durch Erstarren einer Schmelze in der Erde oder auf der Erdoberfläche.		Sedimentgesteine entstehen an der Erdoberfläche durch Ablagerung von Partikeln oder durch Abscheidung aus Lösungen.		Metamorphite entstehen durch Umkristallisation bestehender Gesteine in unterschiedlichen Tiefen der Erdkruste.
Plutonite entstehen aus langsam abkühlenden Schmelzen in der Erdkruste.	Granit (1) Gabbro (2) Peridotit (3)	Siliziklastische Sedimentgesteine entstehen durch Ablagerung von zerbrochenen Gesteinspartikeln.	Konglomerat/ Brekzie (9) Sandstein (10) Tonstein (11)	Tonschiefer (16) Glimmerschiefer (17) Gneis (18) Migmatite (19) Amphibolit (20) Marmor (21)
Vulkanite entstehen aus schnell abkühlenden Gesteinschmelzen oder vulkanischen Eruptionen an der Erdoberfläche.	Rhyolith (4) Obsidian (5) Bimsstein (6) Basalt (7) Tuff (8)	Chemische Sedimentgesteine entstehen durch Ausfällung aus übersättigten Lösungen.	Kalk-Oolith (12) Sinterkalk (13)	Kontaktmetamorphes Gestein (22)
		Biogene Sedimentgesteine bestehen zum überwiegenden Teil aus Resten von Organismen (Schalen oder Pflanzen).	Schillkalk (14) Kohle (15)	

Tabelle B3 | Gesteinsgruppen und Gesteine.

Hinweis: Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf die Nummerierung in den Tafeln IIa – II f.

Tafel IIa | Magmatite

	Nr.	Gesteine	Beschreibung und Entstehung
Plutonite	1		<p>Granite sind makroskopisch weiß, hellgrau, rosa, gelblich und zuweilen grünlich.</p> <p>Im Gefüge ist die Struktur meist durch die mehr oder weniger idiomorphe Form der Feldspatkristalle geprägt. Die meist weißen Oligoklase und die häufig gefärbten Kalifeldspäte (im gezeigten Beispiel rosa) bilden oft dicktafelige Kristalle, die auch makroskopisch leicht erkennbar sind. Plagioklas und Quarz und dunkle Minerale füllen die Zwickel.</p> <p>(Handstück: 14 cm)</p>
	2		<p>Gabbro entspricht chemisch und mineralogisch dem Basalt und ist damit sein in der Tiefe steckengebliebener Vertreter.</p> <p>Er hat eine grauschwarze, gelegentlich auch blaugrüne Farbe, die von dem hohen Anteil dunkler Minerale (Pyroxen, Olivin) herrührt. Der helle Anteil besteht hauptsächlich aus Plagioklas, Quarz fehlt. Im frischen Zustand ist Gabbro meist ein mittelgraues, feinkörniges Gestein, in dem der Kontrast der hellen zu den dunklen Mineralen deutlich zu erkennen ist.</p> <p>(Handstück: 7 cm)</p>
	3		<p>Peridotit ist ein ultramafisches, dunkles, grünliches magmatisches Gestein.</p> <p>Aus diesem Gestein besteht der obere Erdmantel. Olivin wandelt sich bei der Metamorphose unter Anwesenheit von Wasser in Serpentin-Mineralen um, der im hier gezeigten Beispiel als Serpentinrand um einen lagigen Peridotit zu sehen ist. Er stammt von dem Lizard-Ophiolith in SW-England, wo Teile des oberen Erdmantels (Mantelperidotite) als Unterlager einer ozeanischen Kruste aufgeschlossen sind. Hinweise auf die Gesteine des oberen Erdmantels geben auch sogenannte Peridotit- oder Olivinknollen, die von schnell aufsteigendem basaltischen Magma (↗ Gestein Nr. 7, Basalt) an die Erdoberfläche mitgebracht werden. (Handstück: 8 cm)</p>
Vulkanite	4		<p>Rhyolith (griech. = Fließstein) ist ein Vulkanit mit granitischer Zusammensetzung.</p> <p>Er besteht meist aus einer feinkörnigen Grundmasse, bei der man die einzelnen Kristalle nur unter dem Mikroskop erkennen kann. Häufig finden sich größere Einzelminerale (in unserem Beispiel hellrötlicher Alkalifeldspat und grauer Quarz), die auskristallisiert sind, bevor das Magma ausgetreten ist. Dieses Gefüge wird auch als porphyrisches Gefüge bezeichnet, weshalb Rhyolite oft auch Porphyre genannt werden.</p> <p>(Handstück: 9 cm)</p>
	5		<p>Die Zusammensetzung des Obsidian ist ähnlich der des Rhyoliths, aber durch eine schnelle Abkühlung wird die Schmelze abgeschreckt, und es entsteht ein vulkanisches Glas. Durch Entgasung entstehen kleine Blasen, die beim Fließen der Schmelze ausgelängt werden und durch ihre Orientierung Strukturen wie Falten erkennen lassen. Weiße Pünktchen im Obsidian (Sphärolite) sind erste Anzeichen einer Kristallisation; hier haben sich kleine Feldspat-Kristalle kreisförmig ausgeschieden (sog. Schneeflockenobsidian).</p> <p>Wegen seines scharfkantigen, muscheligen Bruches wurde Obsidian als Material für Steinwerkzeuge geschätzt. Er wird daher auch als „schwarzes Gold der Steinzeit“ bezeichnet.</p> <p>(Handstück: 7 cm)</p>

Beschreibung und Entstehung	Gesteine	Nr.	Vulkanite
<p>Bimsstein ist ein poröses vulkanisches Gestein mit einem erheblichen Anteil an Glas. Der hohe Gehalt an eingeschlossenen Gasen bzw. Luft in den Hohlräumen lässt die Dichte auf $< 1 \text{ g/cm}^3$ fallen, so dass Bimsstein auf Wasser schwimmt.</p> <p>Bimsstein entsteht durch gasreiche vulkanische Eruptionen, bei denen die Lava gewissermaßen aufschäumt (wie die Kohlensäure in einer Sektflasche beim Schütteln) und Gase in Blasen Hohlräumen einschließt. Durch die rasche Abkühlung bilden sich nur untergeordnet Kristalle, so dass es sich quasi um schaumiges Gesteinsglas handelt.</p> <p>(Handstück: 7 cm)</p>		6	
<p>Basalt ist das vulkanische Gestein mit der größten Verbreitung an der Erdoberfläche, da er, neben vielen Vorkommen auf den Kontinenten, die ozeanische Kruste bildet.</p> <p>Der größte Teil der feinkörnigen Grundmasse setzt sich aus Eisen- und Magnesiumsilikaten mit Olivin und Pyroxen sowie kalziumreichen Feldspäten (Plagioklas) zusammen. Das Gefüge kann dicht (massig) oder auch blasig sein.</p> <p>Die Basalte werden je nach Entstehungsort untergliedert in:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MORB (mid ocean ridge basalt): an Spreizungszonen zwischen zwei ozeanischen Platten; • IAB (island arc basalt): an Inselbögen und aktiven Kontinentalrändern; • OIB (ocean island basalt): an Ozeaninseln über Hotspots innerhalb der ozeanischen Kruste; • CFB (continental flood basalt): an Spalten oder Hotspots innerhalb der kontinentalen Kruste. <p>Diese Basalttypen unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung.</p> <p>Basalte zeigen manchmal eine säulenartige Ausbildung mit Durchmesser im Dezimeter-Bereich. Diese entstehen bei der Abkühlung der Lava durch Kontraktion.</p> <p>(Handstück: 12 cm)</p>	 	7	
<p>Tuff ist eine verfestigte Ablagerung aus der Eruption eines Vulkans. Die Korngröße und die Zusammensetzung der Partikel variieren, je nach Zusammensetzung des gefördert Magmas. Diese bestimmen auch die Farbe eines Tuffs, die meist gräulich, grünlich oder gelblich ist, aber auch eine rötliche oder violette Tönung kann auftreten. Wird der Tuff mit anderen klastischen Sedimenten vermischt, wobei der Anteil an vulkanischem Material zwischen 25 und 75 % liegt, spricht man von einem Tuffit.</p> <p>Aufgrund der Zwischenstellung zwischen Vulkanit und Sediment wird auch manchmal von Vulkaniklastika gesprochen.</p> <p>(Bildhöhe: 2 m)</p>		8	

Magmatite werden u. a. nach dem Chemismus ihrer ursprünglichen Magmen klassifiziert:

- Fe-Mg arm, reich an K, Na, Al und SiO_2
 - SiO_2 -Gehalt $> 66 \%$: felsisch („sauer“)
 - SiO_2 -Gehalt = $52 - 66 \%$: intermediär
- Fe-Mg-reiche Gesteine
 - SiO_2 -Gehalt = $45 - 52 \%$: mafisch („basisch“)

- SiO_2 -Gehalt $< 45 \%$: ultramafisch („ultrabasisch“).

Ein felsisches Magma hat Kieselsäuregehalte von über 65% SiO_2 und bringt als Pluton einen Granit bzw. als Vulkanit einen Rhyolith hervor. Felsische (helle) Minerale sind Quarz, Alkalifeldspäte, Plagioklase.

Zur Zusammensetzung des Granits gibt es im Bergmännischen den Merksatz:

„Feldspat, Quarz und Glimmer – die drei vergess’ ich nimmer!“



Demgegenüber kristallisiert aus einem mafischen Magma mit weniger als 52 % SiO₂ kein Quarz, dafür aber Plagioklas aus, und es bilden sich in der Tiefe ein Gabbro bzw. an der Erdoberfläche ein Basalt. Mafische (dunkle) Minerale sind Glimmer, Amphibole, Pyroxene und Olivin. Der Begriff „mafisch“ leitet sich von den Elementen Magnesium und Eisen (Ferrum) ab.

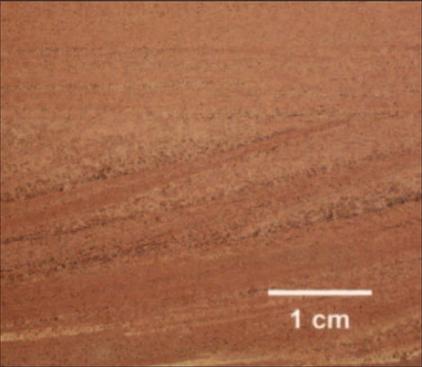
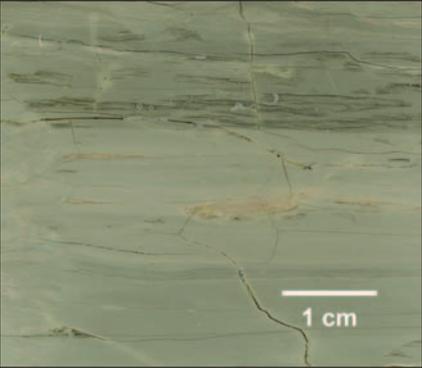
Der SiO₂-Gehalt bestimmt die Fließeigenschaft eines Magmas, denn er steuert die Viskosität (Zähflüssigkeit) der Schmelzen. Ultramafische und mafische Schmelzen sind niedrig viskos (wenig zähflüssig) und können z. B. entlang von Störungszonen aus dem Bereich des oberen Mantels bis an die Erdoberfläche aufsteigen (z. B. die Vulkane des Eger-rites). Beim Austritt des Magmas kann sich

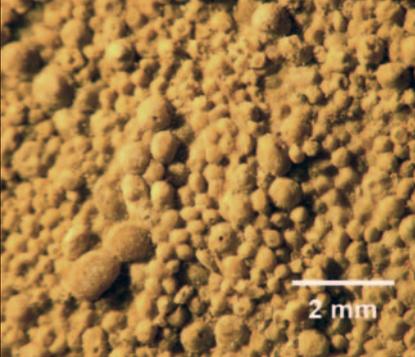
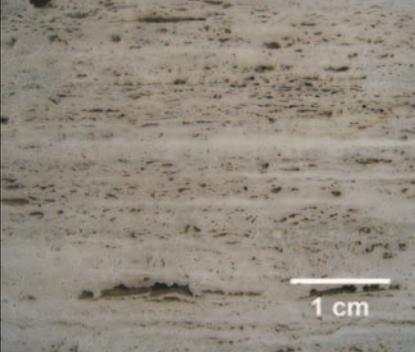
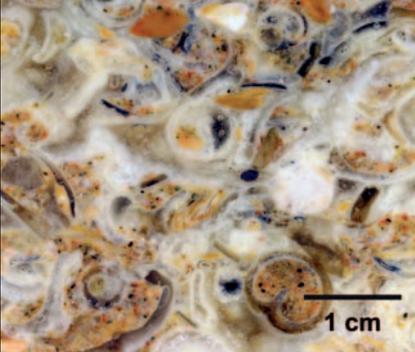
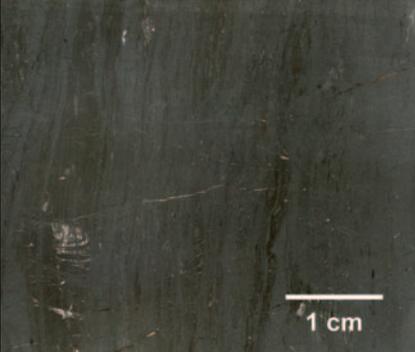
die Lava an der Erdoberfläche weit ausbreiten, wie bei den Schildvulkanen von Hawaii (► Modul C „Plattentektonik“) oder den Flutbasalten in Indien oder Sibirien. Die intermediären und felsischen Magmen haben dagegen eine höhere Viskosität. Schmelzen dieser Zusammensetzung erreichen daher oftmals nicht die Erdoberfläche und bilden Plutonite. Vulkane dieser Zusammensetzung haben steile Flanken, diese gibt es z.B. im Bereich der Inselbögen oberhalb von Subduktionszonen.

3.2 Sedimentgesteine

Sedimente (lat. *sedimentum* = Bodensatz) bilden sich an der Erdoberfläche – am Festland und im Meer. Sie bestehen aus lockeren Teilchen unterschiedlicher Größe und

Tafel IIb | Sedimentgesteine

	Nr.	Gesteine	Beschreibung und Entstehung
Siliziklastische Sedimente	9		Ein grobes klastisches Sediment mit gerundeten Komponenten im Kies und Sandbereich (► Tabelle B4) in einer feinkörnigen Grundmasse (Matrix) wird Konglomerat genannt. Sind die Komponenten eckig, spricht man von einer Brekzie . Der Rundungsgrad ist eine Funktion der Transportweite. Bestehen die Komponenten aus unterschiedlichen Gesteinsarten, so spricht man von polymikten, bei Komponenten von nur einer Gesteinsart von monomikten Konglomeraten.
	10		Sandstein besteht aus miteinander verkitteten Körnern von Sandgröße (► Tabelle B4). Bei den meisten Sandsteinen bestehen die Klasten aus dem verwitterungsresistenten Quarz (Quarzsandsteine). Diese haben normalerweise ein kieseliges, toniges oder karbonatisches Bindemittel. Sandsteine, die durch Wind- und Wasserströmungen abgelagert werden, zeigen oft eine Schrägschichtung.
	11		Tonstein besteht überwiegend aus Tonmineralen (wie Montmorillonit oder Illit), aber auch Quarz-, Feldspat- und Karbonat-Körnern in Tongröße (► Tabelle B4). Tonsteine zeigen eine feine Schichtung, an der sie sich einfach spalten lassen, so dass sie (metamorphen!) Tonschiefern ähneln. Sie sind aus verfestigtem Schlamm entstanden.

Beschreibung und Entstehung	Gesteine	Nr.	Chemische Sedimentgesteine
<p>Kalk-Oolithe bestehen aus einer Ansammlung von kugeligen, konzentrisch aufgebauten Partikeln, die durch Ausfällung von Karbonat im warmen Flachwasser entstanden sind.</p> <p>Diese kugeligen Ausscheidungen gibt es auch als Eisenooolithe, hier bildet Eisenhydroxid, FeO(OH), einen wichtigen Bestandteil.</p>	 <p>2 mm</p>	12	
<p>Sinterkalk und Travertin sind festländische Karbonate und wurden an kalkreichen Süßwasserquellen ausgeschieden.</p> <p>Sie haben meist eine helle (weiße, gelbliche, rötliche oder braune) Farbe. Travertin ist ein poröser Sinterkalk, charakteristisch sind die deutliche Schichtung und das lückige Gefüge. Die Kalkabscheidung erfolgt weitgehend ohne Mitwirkung von Organismen durch Ausfällung beim Austritt des Quellwassers.</p>	 <p>1 cm</p>	13	
<p>Ein Schillkalk besteht aus einer Ansammlung von Bruchstücken von kalkschaligen Organismen, die mit einer karbonatischen Grundmasse verfestigt sind.</p> <p>Im nebenstehenden Beispiel handelt es sich um unterschiedlich große Bruchstücke von Kalkschalen.</p>	 <p>1 cm</p>	14	
<p>Kohle ist durch Inkohlung von Pflanzenresten entstanden (► Modul F „Rohstoffe und Ressourcen“, Exkurs Inkohlung). Die Pflanzenteile sind in klastischen Sedimenten eingelagert.</p> <p>Nur wenn mehr als 70 % des Volumens aus Kohlenstoff besteht, spricht man von Kohle.</p>	 <p>1 cm</p>	15	

Zusammensetzung, die sich während Verwitterung und Erosion aus Festgesteinen gelöst haben und durch Wind oder Wasser transportiert worden sind. Daneben kann ein Sediment auch aus Schalenresten oder Skeletteilen von Organismen bestehen. Die Schichtung ist ein charakteristisches Merkmal von Sedimenten und grenzt sie gleichzeitig von magmatischen

und metamorphen Gesteinen ab. Eine Schichtung ist durch Materialwechsel (z. B. Kalkstein, Sandstein) oder Gefügewechsel (z. B. grobkörnig, feinkörnig) verursacht und ein Resultat von Schwankungen in der Materialzufuhr. Rhythmische Wechsel der Schichtung (z. B. jahreszeitlich wechselnder Eintrag) können eine feine Bänderung hervorrufen.

Benennung	Korndurchmesser	Erkennungskriterium
Steine	> 60 mm	größer als Hühnerei
Kies	2 – 60 mm	Streichholzkopf bis Hühnerei
Sand	0,063 – 2 mm	kleiner als Streichholzkopf bis Grenze der Sichtbarkeit
Schluff (Silt)	0,002 – 0,063 mm	unter Sichtbarkeit, bei Trockenheit nicht fest, knirscht beim Kauen
Ton	< 0,002 mm	unter Sichtbarkeit, bei Trockenheit fest, knirscht nicht beim Kauen

Tabella B4 | Tabelle der Korngrößenzeichnungen nach DIN 4022.

Die Lockergesteine werden durch weitere Prozesse verfestigt und damit zu **Sedimentgesteinen**: Durch überlagernde Sedimente wird das zunächst in den Poren zwischen den Partikeln enthaltene Wasser immer mehr ausgepresst, bis eine dichte Packung der Partikel erreicht ist (Kompaktion) und es zu einer randlichen Lösung von Partikeln kommt. Dieses gelöste Material wird in den Porenräumen wieder ausgefällt; dadurch wird der Porenraum weiter verkleinert (Zementation, Diagenese).

Nach dem Ablagerungsraum lassen sich grob terrestrische (kontinentale) und marine Sedimente bzw. Sedimentgesteine unterscheiden. Da hierbei die gleichen Gesteine gebildet werden können (z. B. Sandstein, Tonstein), ist eine Untergliederung nach Zusammensetzung und Genese sinnvoller. Man unterscheidet deshalb zwischen siliziklastischen, chemischen und biogenen Sedimentgesteinen.

In **siliziklastischen Sedimentgesteinen** (griech. *klasis* = zerbrechen) bestehen die abgelagerten Partikel (Komponenten) aus zerbrochenen oder herausgelösten Gesteinspartikeln, wie beispielsweise Quarz- und Feldspatkörner aus einem verwitterten Granit. Durch fließendes Wasser, Wind oder Eis werden die Partikel transportiert und als Schichten aus Kies, Sand, Schluff (Silt) oder Ton abgelagert. Die Untergliederung der siliziklastischen Sedimente bzw. Sedimentgesteine erfolgt nach der Größe ihrer Partikel (Korngröße) (► Lernort Boden, Modul A, S. 22f).

Bei der Verwitterung von Gesteinen können einige Bestandteile in Lösung übergehen und von Flüssen ins Meer oder in Seen verfrachtet werden, wo dann wiederum neue chemische Verbindungen ausgefällt werden und sich als Minerale ablagern. Zu diesen **chemischen Sedimentgesteinen** gehören die

Evaporite („Eindampfungsgesteine“), herkömlich auch als Salze bezeichnet. Im Meerwasser ist das Verhältnis der gelösten Bestandteile sehr konstant, unabhängig von der schwankenden Konzentration der gesamten Salzmenge. Den vier Kationen Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Magnesium (Mg^{2+}) und Kalzium (Ca^{2+}) stehen drei wichtige Anionen Chlor (Cl^-), Sulfat (SO_4^{2-}) und Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) gegenüber, es bilden sich daher Karbonate, Sulfate und Chloride. Wenn die Konzentration der Bestandteile durch starke Verdunstungsvorgänge erhöht ist, können die Salze ausgefällt werden.

Bei den **biogenen Sedimentgesteinen** unterscheidet man zwischen organischen, die aus Ablagerungen von Schalenresten (z. B. Zusammenschwemmung von Schalenbruchstücken, sogenannter Schill) bzw. pflanzlicher Substanz (z. B. Kohle) bestehen und organogenen Sedimenten, die Produkte von Lebensvorgängen sind (z. B. Korallenriffkalke). Zu den biogenen Sedimenten zählen somit die marinen Karbonate, die zu den häufigsten Gesteinen an der Erdoberfläche gehören. Organismen (z.B. Korallen, Muscheln) bauen Schalen oder Gerüste aus den Mineralen Calcit oder Aragonit. Insbesondere die Riffe bestehen zum größten Teil aus Kalk von Korallen (Riffkalke). Werden Schalenreste im flachen Meer zusammenschwemmt, entstehen daraus Schillkalke mit deutlicher Schichtung und Sortierung nach der Korngröße. Aus mikroskopisch kleinen Resten von marinen Einzellern besteht die Schreibkreide. Reste von kieseligen (aus SiO_2 aufgebauten) Organismen (Schwammnadeln oder Radiolarien genannte Skelette von Einzellern) können ebenfalls Gesteine aufbauen, die als Hornsteine bezeichnet werden. **Kohlen** entstehen durch Akkumulation unvollständig zersetzter Pflanzenteile.

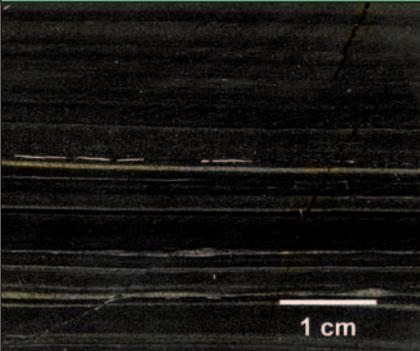
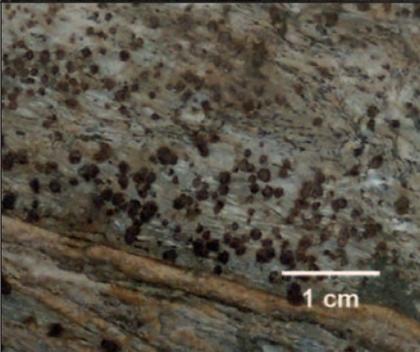
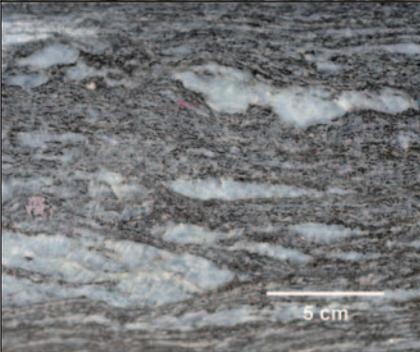
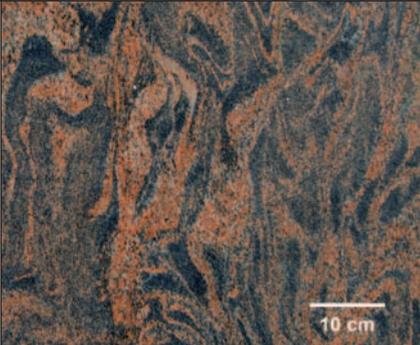
3.3 Metamorphe Gesteine

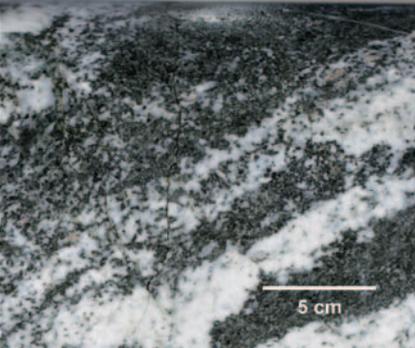
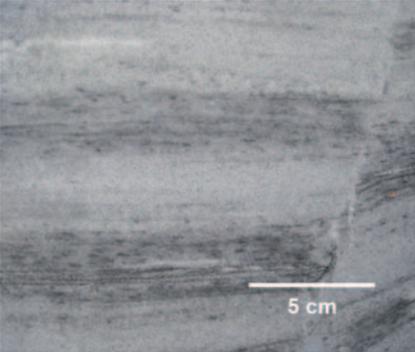
Im Rahmen des Kreislaufs der Gesteine können aus vorhandenen Gesteinen beliebigen Typs (Sedimentgesteine, Magmatite oder auch Metamorphite) infolge veränderter Umgebungsbedingungen (Druck, Temperatur) Gesteine gebildet werden, die sich hinsichtlich ihres Mineralbestands und ihrer Textur vom Ausgangsgestein unterscheiden. Diesen Prozess der mineralogischen und strukturellen

Veränderung ohne Änderung der chemischen Zusammensetzung des Gesteins wird Metamorphose genannt. War das Ausgangsgestein ein Magmatit, wird daraus ein Orthogestein, aus einem Sediment wird ein Paragestein.

Grundsätzlich lassen sich zwei Typen von Metamorphose unterscheiden:

- Regionalmetamorphose: Sie ereignet sich im Zusammenhang mit Gebirgsbildungsvorgängen (Orogenese). Durch die Versen-

Beschreibung und Entstehung	Gesteine	Nr.	Metamorphite
<p>Tonschiefer bildet sich bei niedrigen Metamorphosegraden aus Tonstein.</p> <p>Kennzeichnend ist die relativ geringe Umkristallisation, so dass die ursprünglichen Minerale des Sediments weitgehend erhalten blieben. Der Mineralbestand umfasst neben den vorherrschenden Tonmineralen auch Quarz und farbgebende Minerale wie Chlorit (grün), Hämatit (rot) oder auch bituminös-organische Substanzen (schwarz). Durch den gerichteten Druck bei der Gebirgsbildung entstehen Schieferungsflächen. Liegen Schicht- und Schieferungsflächen parallel zueinander, dann lässt sich das Gestein in dünne Platten (Schiefer) spalten.</p>		16	
<p>Glimmerschiefer ist ein Sammelbegriff für Metamorphite mit einem erheblichen Gehalt an Schichtsilikaten (> 50 % Glimmer) und einem (im Vergleich zum Gneis) deutlich geringeren Gehalt an Feldspat (> 20 %).</p> <p>Sie sind mittel- bis grobkörnig und haben ein planares (schichtiges) Gefüge. Sie entstehen bei mittleren Metamorphosegraden (ca. 300 – 450 °C). Abgebildet ist ein Granat-Glimmerschiefer aus dem Passeiertal in Tirol mit großen, rötlich-schwarzen Almandin-Granaten auf den Schieferflächen.</p>		17	
<p>Gneise haben eine typische grobschieferige, gebänderte Struktur mit unregelmäßigen Flächen.</p> <p>Sie entstehen bei höheren Temperaturen während der Metamorphose. Die Flächen werden bei der Metamorphose des Gesteins durch Neubildung (Kristallisation) der Minerale unter Einwirkung von gerichtetem Druck gebildet.</p> <p>Hier gezeigt ist ein Paragneis (ehemalige Sedimentgesteine), ein Ausschnitt aus einem Bohrkern der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB) aus Windischeschenbach in der Oberpfalz (► Modul I „Außerschulische Lernorte“).</p>		18	
<p>Migmatite haben Gefügebereiche, die einem feinkörnigen Granit ähnlich sind.</p> <p>Hier haben sich im Gestein Schmelzen gebildet und sind dann wieder abgekühlt. Es werden Quarz und Feldspat aufgeschmolzen, die dunklen Gemengteile bleiben fest. Dadurch haben Migmatite schlierige, weiße Gefügebereiche, während die dunklen Minerale im Ausgangsgefüge verbleiben oder dunkle Lagen im Randbereich der Aufschmelzungen bilden.</p>		19	

Metamorphite	Nr.	Gesteine	Beschreibung und Entstehung
	20		<p>Amphibolite sind mittel- bis grobkörnige, teils massige, teils geschieferte Metamorphite von dunkelgrüner, grauer oder schwarzgrüner Farbe.</p> <p>Hauptgemengteile sind Hornblende (30 – 70 %) und Plagioklas (15 – 40 %). Sie entstehen durch Metamorphose mafischer Magmatite (z. B. Gabbro, Basalt).</p> <p>Das Bild zeigt einen Bohrkern der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB) aus Windischeschenbach in der Oberpfalz (► Modul I „Außerschulische Lernorte“).</p>
	21		<p>Marmor entsteht bei der Metamorphose aus relativ reinen Kalksteinen.</p> <p>Bei der Metamorphose bilden sich größere Calcit Kristalle, die ein dichtes Mosaik bilden. Frische Bruchflächen zeigen die Kristallflächen des Calcits und erscheinen als „zuckeriges“ Gefüge. Nur ganz reiner Kalkstein wird bei der Metamorphose zu reinweißem Marmor, wie z. B. der Carrara Marmor aus Norditalien oder der Thassos Marmor aus Griechenland. Je nach Verunreinigung können verschiedenen Färbungen auftreten, die von dunkelgrau gestreift über gelblich, grünlich und rosa reichen.</p>
	22		<p>Kontaktmetamorphe Gesteine zeichnen sich durch das Größenzwachstum einzelner Minerale aus und es bilden sich oft schöne Kristalle.</p> <p>Welche Minerale sich bilden, hängt von der Kontaktwirkung des magmatischen Körpers und der Zusammensetzung des Umgebungsgesteins ab.</p> <p>Das Bild zeigt einen Chiestolithschiefer aus Gefrees (Fichtelgebirge) mit regellos gewachsenen Andalusitkristallen in einem regionalmetamorphen Glimmerschiefer. (↗ auch Mineral Nr. 7)</p>

kung und Einwirkung der aus Plattenbewegungen resultierenden Spannungen entstehen mineralogische und strukturelle Veränderungen in den Gesteinen. Minerale werden eingeregelt oder wachsen orientiert immer senkrecht zur Richtung der größten Spannung – so entstehen z. B. eine Schieferung oder ein Gneisgefüge. Mit steigender Temperatur bilden sich charakteristische Metamorphite, z. B. Tonstein → Tonschiefer bei niedriger Temperatur (etwa 150 – 250 °C) zum → Phyllit (250 – 350 °C) oder → Glimmerschiefer (300 – 600 °C); bei noch höherer Temperatur bilden sich Gneise. Oberhalb von 700 °C kann es zur Ausbildung verschiedener Gesteinstypen kommen, je nachdem ob das Gestein wasserhaltige Minerale enthält (z. B. Glimmerminerale, ↗ Tabelle B2) oder „trocken“ ist. Im ersten Fall kommt es zur Teilauf-

schmelzung von Quarz und Feldspat und es bildet sich ein Migmatit, im zweiten Fall bildet sich ein Granulit.

- **Kontaktmetamorphose:** Durch eine Wärmequelle beim Aufstieg von Schmelzen, z. B. bei Bildungen von Granit-Plutonen oder basaltischen Gängen, wird das Umgebungsgestein aufgeheizt und es bildet sich eine Kontaktaureole bzw. ein Kontaktsaum. Auf Grund der relativ geringen Wärmeleitfähigkeit der Gesteine entsteht ein Temperaturgefälle mit dem Ergebnis einer zonaren Anordnung von kontaktmetamorphen Gesteinen. Direkt am Kontakt können sehr feinkörnige massige Hornfelse entstehen (keine Foliation), in der Kontaktzone kann es zum Wachstum einzelner Minerale (z. B. Andalusit, Granat) kommen, die Größen von mehreren Zentimetern erreichen können.

Lithographie – der Steindruck

Die Lithographie, das erste chemische Flachdruckverfahren, wurde 1798 von **Alois Senefelder** in Bayern erfunden. Diese Drucktechnik war für fast 100 Jahre das am häufigsten angewendete Verfahren zur Vervielfältigung von Landkarten und farbigen Drucksachen und war damit für die darstellende Kunst von großer Bedeutung.

Senefelder benutzte den Solenhofer Plattenkalk (► Modul I „Außerschulische Lernorte“, Exkursion Nr. 4) als Druckträger. Dieser sehr feinkörnige und harte Jura-Kalkstein lässt sich



B4 | Druckpresse zur Herstellung von Lithographien.

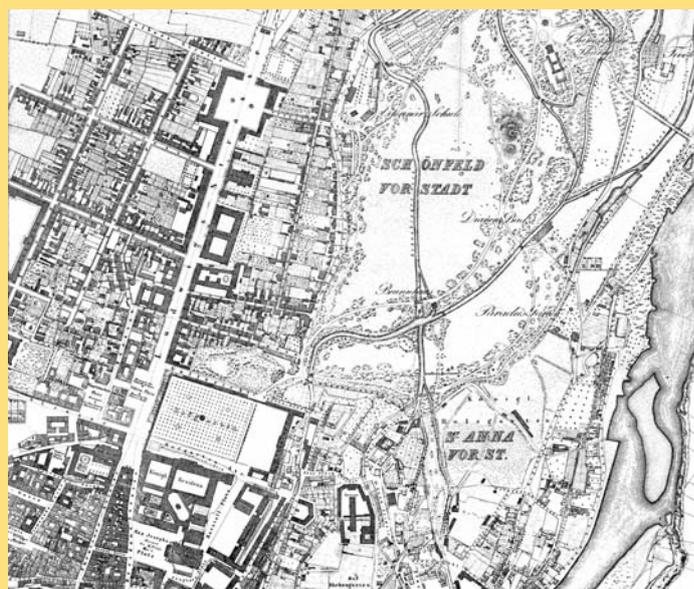


B3 | Druckplatte aus Solenhofer Plattenkalk.

in planparallele Platten spalten, die unter dem Druck der Druckpresse nicht zerbrechen. Die Steinplatten werden vor Gebrauch geschliffen, dann wird das Druckbild auf die Oberfläche eingeritzt und mit einer fetthaltigen Substanz markiert. Die Oberfläche wird so behandelt, dass nur die fetthaltigen Linien die Druckerfarbe annehmen. Von einer Vorlage können bis zu 10.000 Abzüge gemacht werden.

In Bayern wurde 1808 die „Lithographische Anstalt“ eingerichtet, in der unter der Leitung von Senefelder ein Landkartenwerk für das Königreich Bayern erstellt wurde. Auf Kalksteinplatten in der Größe von 70 x 70 cm wurden dazu detailgenaue topographische Darstellungen als Druckvorlage spiegelverkehrt auf die Kalksteinplatten aufgetragen. Diese Platten, insgesamt 26.634, befinden sich heute im Lithographiestein-Archiv des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation in München.

B5 | Kartenausschnitt der Stadt München aus dem Jahre 1849, die im Steindruckverfahren vervielfältigt wurde.



Weiterführende Literatur, Links und Karten (Auswahl):

Duda, F. & Reijl, L. 2003. Der Kosmos-Mineralienführer. Mineralien, Gesteine, Edelsteine, 319 S., Kosmos Verlag, ISBN 978-3-44009-451-8.

Grundmann, G. & Scholz, H. 2005. Kieselsteine im Alpenvorland – suchen und selbst bestimmen: „Rolling Stones“ aus dem Einzugsbereich Iller – Lech – Isar – Inn, 72 S., Weise Verlag, ISBN 978-3-92165-665-5.

Markel, G. 2004. Minerale und Gesteine, Eigenschaften-Bildung-Untersuchung, 355 S., Spektrum Akademischer Verlag, ISBN 978-3-8274-2024-4.

Rothe, P. 2005. Gesteine, Entstehung – Zerstörung – Umbildung, 192 S., Primus Verlag, ISBN 978-3-89678-536-7.

Schumann, W. 2008. Minerale – Gesteine. Merkmale, Vorkommen und Verwendung. 127 S., blv Verlag, ISBN 978-3-83540-372-7.

Sebastian, U. 2008. Gesteinskunde: Ein Leitfaden für Einsteiger und Anwender, 166 S., Spektrum Akademischer Verlag, ISBN 978-3-82742-024-4.

Vinx, R. 2007. Gesteinsbestimmung im Gelände. 472 S., Spektrum Akademischer Verlag, ISBN 978-3-82741-925-5.

EuRegio-Broschüre „Salzackiesel“, Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Beschreibung zur Entstehung und Bestimmung der Kieselsteine an der Salzach, zu beziehen über ► www.euregio-salzburg.eu

Fotos von Mineralen und Gesteinen:

- www.gesteine-projekt.de
- www.min.uni-bremen.de/kabinett
- www.geologie.uni-frankfurt.de/gesteine/gesteine.html

Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Gesundheit (StMUG)

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB)