

bi.geo

GEOLOGIE

220 001 VU

Unterlagen zur Geologieübung

MINERALOGIE

WS 2022 / 2023



Institut für Geotechnik
Forschungsbereich für Ingenieurgeologie

Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/220-1, A-1040 Wien, Tel.: +43-1-58801-20301
Email: christine.cerny@tuwien.ac.at
<http://www.ig.tuwien.ac.at>

Mineralbestimmungsübungen

Stark vereinfachte Tabellen zum Erkennen wichtiger Minerale
im Rahmen der Übungen für Studenten des Bauingenieurwesens.

Für das Erkennen von Mineralen werden in diesen Übungen bewußt nur Merkmale herangezogen, zu deren Feststellung einfache Hilfsmittel genügen. Auf eine systematische Einteilung in "Mineralklassen" wurde weitgehend verzichtet.

Erkennungsmerkmale:

Härte (siehe dazu die untenstehende Härteskala)

Dichte

Spaltbarkeit / Bruchform

Farbe und Strich (Farbe des Mineralpulvers)

Ausbildungsform der Minerale (Kristalle) und Mineralaggregate

Einfache chemisch-physikalische Reaktionen; z.B. Salzsäureprobe, Erhitzungsversuch etc.

<u>Härteskala (Ritzhärte nach MOHS)</u>		
Gilt nur für die Härte des unverwitterten <u>Einzelminerals</u> und ist nur mit Vorsicht auf Mineralaggregate anwendbar.		
MOHS'sche Ritzhärte	Minerale der Härteskala	Einfache Härteprüfmittel zum Vergleich
1	Talk ,Graphit	
2	Gips, Steinsalz	Fingernagel
3	Kalkspat	Kupferdraht / Kupfermünze
4	Flußspat	
5	Apatit	Fensterglas
6	Feldspat (Orthoklas)	Stahl eines Taschenmessers
7	Quarz	Stahl einer guten Feile
8	Topas	
9	Korund (Smirgel)	Elektrokorund
10	Diamant	Siliziumkarbid
		Ritzhärte nach MOHS etwa
		2 - 2 1/2
		3
		5 1/2
		6
		um 7
		um 9
		um 9 1/2

Reihung der in den Mineralbestimmungstabellen angeführten Minerale nach ihrer Ritzhärte

Härte

- 1 Graphit
Tonminerale
Talk
Limonit (kann je nach Ausbildung Härte 1-5 aufweisen)
- 1 1/2 - 2 Gips
2 - 2 1/2 Muskovit
Chlorit
Steinsalz (häufig kaum mehr mit dem Fingernagel ritzbar !)
- 2 1/2 - 3 Biotit
- 3 Kalkspat
- 3 - 3 1/2 Schwerspat
- 3 - 4 Serpentinminerale
Anhydrit
- 3 1/2 - 4 Dolomit (als Gestein meist härter !)
- 5 - 6 Amphibole (Hornblende)
- 5 1/2 - 6 Opal
- 6 Feldspatgruppe
- 6 - 6 1/2 Pyrit
- 6 - 7 Chalcedon (Hornstein, Feuerstein)
- 6 1/2 - 7 Granatgruppe
Quarz

Farbe der Minerale

Die Farbe der Minerale ist in vielen Fällen kein verlässliches Bestimmungsmerkmal ! In folgenden Fällen ist aber die Farbe der unverwitterten Minerale ein brauchbares Hilfsmittel zur Bestimmung.

- Amethyst violett
- Rosenquarz rosa
- Blottit dunkelbraun bis schwarz
- Chlorit hell- bis schwarzgrün
- Serpentinminerale grün bis gelbgrün
- Granatgruppe vorwiegend rot bis rotbraun
- Pyrit messinggelb
- Limonitgruppe vorwiegend gelb oder ockerig bis schwarzbraun

Strich = Farbe des Mineralpulvers

Einen farbigen Strich weisen u.a. folgende Minerale auf:

- Pyrit schwarzgrau bis grünlich-schwarz
- Hämatit rotbraun
- Limotit gelb bis braun
- Graphit grau-schwarz-schimmernd
- Chlorit blass-grün
- ferner: grau-weiß
- Muskovit blass bis blassgrün
- Hornblende

Alle übrigen in den Bestimmungstabellen angeführten Minerale haben einen weißen bis farblosen Strich.

Spaltbarkeit

Anmerkung: Die Art der Spaltbarkeit, z.B. "vollkommen", "gut", "unvollkommen"wurde hier nicht berücksichtigt.

Nach 3 Ebenen spaltbare Minerale:

- Die rhomboedrischen Karbonate: Kalkspat
Dolomit
Siderit

Feldspatgruppe

- Anhydrit
- Steinsalz
- Diamant

Nach 2 Ebenen spaltbare Minerale:

- Schwerspat
- Amphibole

Nach 1 Ebene spaltbare Minerale:

- Die Schichtgittersilikate: Muskovit
Biotit
Chlorit (Talk)
(Serpentin)

ferner: Graphit
Gips

Dichte

Ein Großteil der gesteinsbildenden Minerale weist eine Dichte zwischen etwa 2,5 und 2,9 auf. Diese relativ geringfügigen Unterschiede in der Dichte sind für Ungeübte ohne Hilfsmittel schwer abschätzbar und daher als Bestimmungsmerkmal hier nicht oder kaum anwendbar.

Auffallend "leicht" = geringe Dichte

- Steinsalz 2,1 - 2,3
- Gips 2,2 - 2,4
- Graphit 2,1 - 2,3
- Montmorillonit 2,0 - 2,3
- Auffallend "schwer" = hohe Dichte

- Erze: 5,0 - 5,2
- Pyrit 5,2
- Hämatit 5,2
- Magnetit

- ferner: Schwerspat 4,5
- Granatgruppe 3,5 - 4,2
- Amphibole 2,9 - 3,4

Begriffsbestimmungen und Erläuterung einiger wichtiger Mineraleigenschaften für die Mineralbestimmungsübungen im Rahmen des Praktikums für Bauingenieurstudenten

Kristalle

Kristalle sind feste - in Ausnahmefällen auch flüssige - Körper mit dreidimensional-periodischer Anordnung der chemischen Bausteine. (Gilt am Beispiel Quarz ebenso für den wohl ausgebildeten Bergkristall, wie auch für das Quarzsandkorn).

Minerale:

Minerale sind im chemisch-physikalischen Sinne homogene, d.h. stofflich und strukturell gleichartige Bestandteile der Erde und anderer Himmelskörper. So bauen z.B. die Minerale Feldspat, Quarz und Glimmer das Gestein Granit auf.

Mineralhärte (Ritzhärte)

Unter "Härte" wird in der Mineralogie i.allg. die Ritzhärte verstanden, d.i. jener Widerstand, den ein Mineral dem Ritzversuch mit der scharfen Kante eines gegebenen Vergleichsminerals entgegensetzt. In der MOHS'schen Härteskala unterscheidet man 10 Härtestufen. Härte 1 entspricht dem weichsten, Härte 10 dem härtesten Mineral.

Ein Mineral mit der Härte 4 ritzt z.B. alle Minerale mit einer Härte < 4. Es wird seinerseits von allen Mineralen mit Härte > 4 geritzt. Gleichharte Minerale ritzen einander praktisch nicht.

Achtung! Die Härteskala gilt nur für die Härte des unverwitterten Einzelmaterials und ist nur mit Vorsicht auf Mineralaggregate anwendbar.

Spaltbarkeit / Bruchform

Mit "Spaltbarkeit" bezeichnet man die Eigenschaft bestimmter Kristalle, bei mechanischer Beanspruchung über die Bruchgrenze, sich nach einer oder nach mehreren Gitterebenen, d.h. nach 1,2 od. 3 Richtungen leicht und ebenflächig trennen zu lassen. Solche bevorzugte ebenen Trennflächen an Kristallen bezeichnet man als Spaltflächen. Die "Spaltbarkeit" ist von Mineral zu Mineral graduell verschieden, daher Bestimmungsmerkmal. Je nach dem Grad der Spaltbarkeit wird sie als "ausgezeichnet oder vollkommen, sehr gut, deutlich, schlecht" bezeichnet.

Die Endsilbe "-spat" am Namen bestimmter Minerale weist auf gute Spaltbarkeit der Kristalle der betreffenden Mineralart hin. Beispiele: Kalkspat, Schwefelspat, Feldspat. Ebenso wird in bestimmten Fällen eine charakteristische Spaltungsform zur Namensgebung herangezogen.

Als Beispiel: die Reihe der "rhomboedrischen Karbonate" nach dem für diese Minerale typischen "Spaltrhomboider".

Von "Bruch" spricht man (als Gegensatz zu "Spaltbarkeit"), wenn die beim Zerschlagen eines Minerals entstandenen Trennflächen unregelmäßig geformt sind. Die Bruchfläche kann zwar mehr oder weniger eben sein, sie ist jedoch nicht durch kristallographische Gesetzmäßigkeiten in ihrer Raumlage bestimmt. Man unterscheidet u.a. muschelige, rauhen, splittrigen, faserigen,....Bruch.

Ausbildung der Kristalle, der Minerale und Mineralaggregate

Kristallinisch

heißen Kristallaggregate, deren kleine Einzelkristalle in statistisch regelloser oder teilweise geregelter Anordnung sich bei gleichzeitigem Wachstum gegenseitig an der Entwicklung individueller ("idiomorpher") äußerer kristallographischer Begrenzungsflächen hindern.

"Dicht"

sind Kristallaggregate, wenn die einzelnen Kriställchen so klein sind, dass sie mit freiem Auge nicht mehr unterschieden werden können. "Dicht" in diesem Sinne sind z.B. die meisten Kalksteine.

Der Habitus

der Kristalle ist durch die beim Kristallwachstum auftretende Bevorzugung bestimmter Richtungen an der betreffenden Kristallart gegeben. Diese Bevorzugung hängt mit dem Raumgitter der betreffenden Kristalle zusammen.

Wachstum in drei Richtungen des Raumes körniger, isometrischer Habitus

Wachstum in zwei Richtungen des Raumes dünn-, u. dicktafeliger, blättriger od. schuppiger Habitus

Wachstum bevorzugt in einer Richtung prismatischer, stengelig, nadeliger od. faseriger Habitus

Amorph

sind Mineralmassen, die nicht kristallisiert sind (z.B. Opal = "Kieselsäure" mit wechsellösl. Wassergehalt). Nur eine verschwindende Minderzahl aller Minerale ist amorph. Die meisten Minerale, die früher, weil fast immer "derb" auftretend, für amorph gehalten wurden, sind feinkristallinisch. Gegensatz zu amorph: kristallisiert (s.dazu Definition Kristalle).

Farbe / Strich

Die Farbe der Minerale ist nur selten ein verlässliches Bestimmungsmerkmal, wie z.B. die schwarze Farbe des Graphits oder des Magnetits. Das Messinggelb des unverwitterten Pyrits, die grüne Farbe des Chlorits oder des Serpentin, das Gelb des Schwefels etc. sind für das betreffende Mineral bezeichnend. Zahlreiche Minerale können dagegen in verschiedenen Farbvarietäten auftreten, da schon sehr geringe Mengen an Fremdschubstanz die Farbe eines Minerals verdecken können. Hämatit (Fe₂O₃) färbt bereits in Spuren intensiv rot.

"Strich" (Strichfarbe)

Manche Minerale hinterlassen beim Reiben auf unglasiertem Porzellan einen charakteristischen Farbstrich, der mit der Farbe des betreffenden Minerals bisweilen übereinstimmt, in anderen Fällen aber von dieser abweicht. Pyritkristalle sind z.B. gelb, die Farbe des Pulvers des betreffenden Minerals. Minerale, die einen farbigen Strich geben, nennt man eigenfärbig. Man unterscheidet sie von jenen, die zwar als Folge der Beimengung feinstverteilter färbender Substanzen im Stück gefärbt sind (Amethyst, blaues Steinsalz, rötlicher Feldspat), die aber im Strich nur die weiße Pulverfarbe der Grundsubstanz (Quarz, Steinsalz, Feldspat) geben. Sie heißen fremdfärbig.

Glanz

Minerale weisen auf Kristall- und Spaltflächen häufig einen charakteristischen Glanz auf. Man unterscheidet u.a. Diamantglanz, Glas- bis Fettglanz (z.B. Quarz), Metalglanz, Seidenglanz (Asbeste, Faserigips), Perlmutterglanz (Glimmer). Gegensatz: Glanzlos (auch "stumpf", z.B. Kaolinit)

Salzsäure - Reaktion

Als charakteristisches Merkmal wird in der Mineralogie und Geologie seit jeher das Verhalten bestimmter Minerale gegen verdünnte (ca. 7 %-ige) HCL benützt. Kalkspat braust beim Auftropfen von HCL durch sofort einsetzende CO₂-Entwicklung lebhaft auf. (Frischer) Dolomit dagegen entwickelt, sofern überhaupt, erst nach mehreren Sekunden die ersten feinen CO₂-Bläschen im HCL - Tropfen. Dolomitpulver (durch wiederholtes Ritzen oder Zerreiben hergestellt) braust dagegen mit verdünnter Salzsäure deutlich.

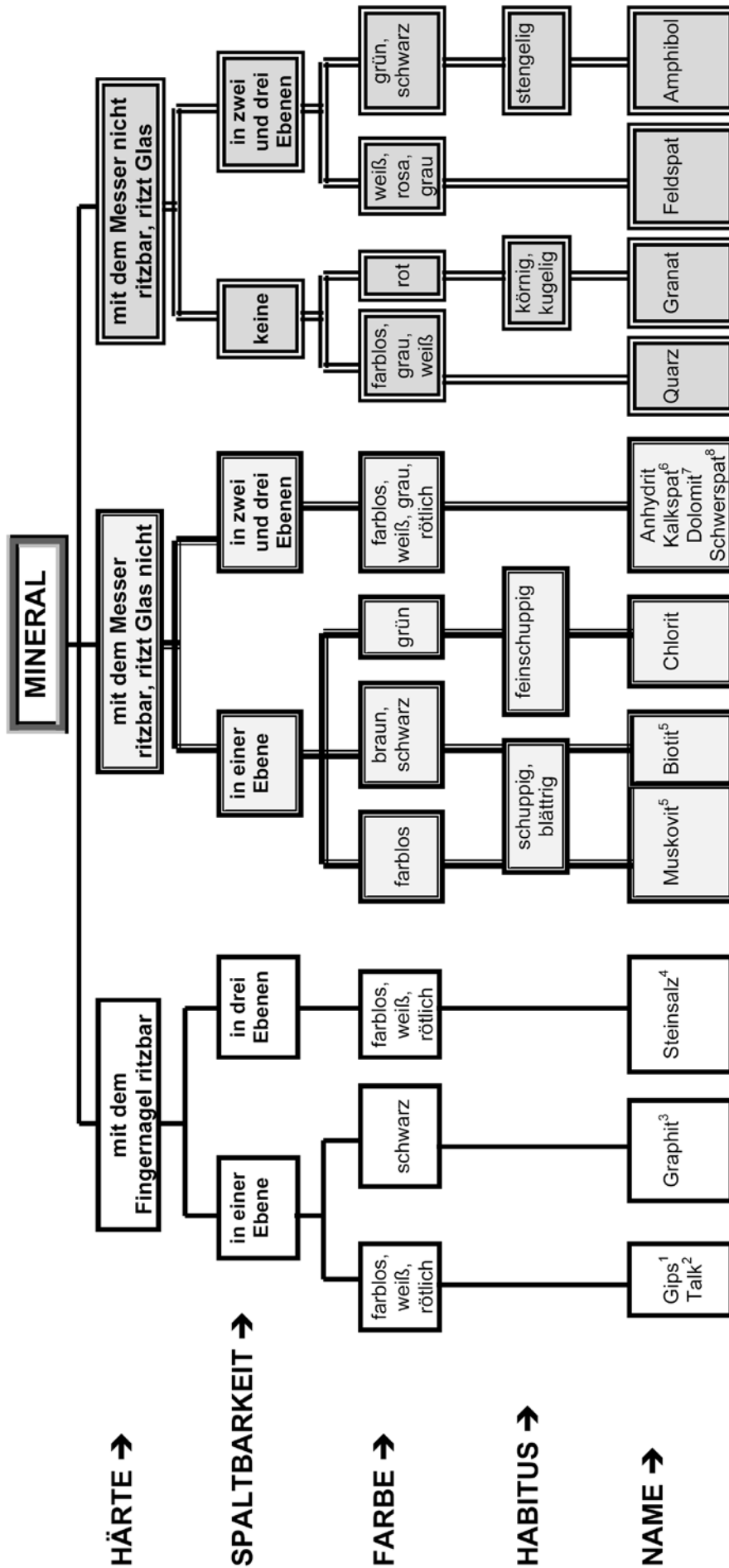
Erhitzung - Versuch

Kristallwasser (Hydratwasser = Wassermoleküle, die am Aufbau eines Kristalles beteiligt sind) wird beim Erhitzen, z.B. von Gips (CaSO₄ * 2H₂O) freigesetzt. Versuch: Eine Gipsprobe wird in einer schräg gehaltenen Epruvette über einer Flamme erhitzt, wobei weißer, gebrannter Gips entsteht und das freigesetzte Kristallwasser sich an den kühl gebliebenen Wänden der Epruvette in Tropfenform niederschlägt (nicht verwechseln mit dem Feuchtigkeitsgehalt eines Minerals z.B. von Kaolinit !)

Schwefelgeruch: Sulfidische Erze, z.B. Pyrit (FeS₂) zerfallen beim Erhitzen ("Rösten") in ihren Eisen- u. Schwefelanteil. Versuch: Zerkleinerter Pyrit wird in einer Epruvette, wie oben beschrieben, erhitzt, wobei ein stechender Geruch durch den gesetzten Schwefel entsteht.

VEREINFACHTER MINERALBESTIMMUNGSSCHLÜSSEL

Stellen Sie fest, ob es sich um ein einzelnes Mineral oder um Mineralaggregate handelt!



HÄRTE →

SPALTBARKEIT →

FARBE →

HABITUS →

NAME →

WEITERE BESTIMMUNGSMERKMALE

- 1 Gips - Kristallwasserprobe
- 2 Talk - fühlt sich fettig an
- 3 Graphit - schwarze Finger
- 4 Steinsalz - Geschmack, manchmal Härte 3!
- 5 Glimmer - biegsame Blättchen
- 6 Kalkspat - braust mit verdünnter HCl
- 7 Dolomit - Pulver braust mit verdünnter HCl
- 8 Schwespat - hohe Dichte

ERZE IN DEN BESTIMMUNGSLADEN

- hohe Dichte, häufig metallischer Glanz
- Pyrit - messinggelbes Eisensulfid mit schwarzgrauer Strichfarbe
- Hämatit - stahlgraues, derbes oder schuppiges Eisenoxid mit rotbrauner Strichfarbe

SONSTIGE MINERALE IN DEN BESTIMMUNGSLADEN

- Tonminerale - trocken, ein feinstkörniges Pulver; Wasseraufnahme!
- Asbest - fasrige Minerale der Amphibol- oder Serpentingruppe - Asbestose!
- Limonit - rotbraunes Verwitterungsprodukt von Eisenzeren
- Chalcedon (Feuerstein, Hornstein) - Härte 7, glatter muscheliger Bruch

Mineral bzw. Mineralgruppe chem.Zusammensetzung	1. Wichtigste Erkennungsmerkmale	2. Härte H	3. Dichte D	4. Bruchform B Spaltbarkeit S	5. Farbe F Strich Str.
<u>Quarz</u> SiO ₂	wasserklar bis trüb oder milchig-weiß, bricht splittig-rauh, ritzt Stahl sehr leicht, erzeugt beim Schlagen gegeneinander oder gegen Stahl Funken. Achtung: Feinstaub gesundheitsgefährdend (Silikose)	7	2,65	B siehe 1 S keine	F siehe 1 Str. weiß
<u>Chalcedon</u> (Hornstein, Feuerstein, Flint) SiO ₂	auffallend glatter, muscheliger Bruch in scharfe Kanten auslaufend Farben grau, schwarz, rot, gelblich	6 - 7	2,6	B siehe 1 S keine	F siehe 1 Str. weiß
<u>Feldspat</u> Feldspatgruppe	häufig porzellanweiß; nach 2 Ebenen vollkommen, nach der 3. schlechter spaltbar; knapp härter als Fensterglas	6	2,6 - 2,8	B siehe 1 S siehe 1	F porzellanweiß sonst helle Farben (weiß, grau, rötlich, rot, gelblich) basische Feldspäte auch dunkel Str. weiß
<u>Amphibole</u> Hornblende Ca-Na, MgAlFe-Silikate <u>Hornblendeasbest</u>	schwarze, schwarzgrüne bis hellgrüne kurze Säulen bis lange "Stengel"; spaltbar, In Metamorphiten meist streng parallel gelagert feinfaserige Ausbildung Achtung: Feinstaub bes. gesundheitsgefährdend ! (Asbestose)	5 - 6	2,9 - 3,4	B splittig S vollkommen nach 2 Ebenen	F siehe 1 Str. blass bis blassgrün

Mineral bzw. Mineralgruppe chem.Zusammensetzung	1. Wichtigste Erkennungsmerkmale	2. Härte H	3. Dichte D	4. Bruchform B Spaltbarkeit S	5. Farbe F Strich Str.
<u>Granat (-Gruppe)</u> isomorphe Mischungsreihe als Beispiel Almandin $(Fe_3 Al_2 (SiO_4)_3)$	vorwiegend rote bis rotbraune, der Kugelform angenäherte "Körner" von Stecknadelkopf- bis Haselnußgröße. Bruch rauh - splittrig	6 1/2 - 7	3,5 - 4,2	B siehe 1 S keine	F siehe 1 Str. weiß bis farblos
(Glimmergruppe) <u>Muskovit</u> (Hellglimmer) $(OH,F)_4 K_2 Al_4 [Al_2 Si_6 O_{20}]$ <u>Serizit</u> <u>Biotit</u> (Dunkelglimmer) $(OH,F)_4 K_2 (Mg,Fe)_6 [(Al_2 Si_6) O_{20}]$	blättrig - schuppig durchscheinend bis durchsichtig; immer helle bis silbrige Farben; vollkommen spaltbar in dünnste Blättchen Spaltblättchen federn elastisch feinstschuppige Ausbildung des Muskovites blättrig - schuppig, dunkelbraun bis schwarz vollkommen spaltbar in dünnste Blättchen Spaltblättchen federn elastisch	2 - 2 1/2	2,8 - 2,9	B eben / Blättrig S vollkommen nach 1 Ebene B eben / blättrig S vollkommen nach 1 Ebene	F hellgelblich bis grünlich auch glasklar durchsichtig Str. weiß F dunkelbraun bis schwarz, seltener schwarzgrün, goldgelb verwitternd Str. grau-weiß
(Glimmerähnlich) <u>Chlorit</u> $(Mg,Fe)_{10} (OH)_6 [(Al_2 Si_6) O_{20}]$	hell- bis schwarzgrün, schuppig bis feinblättrig (selten größer als 2-3 mm) auch dicht vollkommen spaltbar, Spaltblättchen <u>nicht</u> elastisch	2 - 2 1/2	2,7 - 3,0	B splittrig-schuppig S vollkommen nach 1 Ebene	F siehe 1 Str. deutlich grünlich

1. Wichtigste Erkennungsmerkmale	2. Härte H	3. Dichte D	4. Bruchform B Spaltbarkeit S	5. Farbe F Strich Str.
<p>Mineral bzw. Mineralgruppe chem. Zusammensetzung</p> <p><u>Talk</u> (Speckstein)</p> <p>Steatit: gebrannter Talk ($Mg_3(OH)_4[Si_8O_{20}]$)</p>	1 (als Speckstein meist härter)	2,7 - 2,8	B siehe 1 S vollkommen nach 1 Ebene	F siehe 1 Str. weiß
<p><u>"Tonminerale"</u></p> <p>als Beispiele Kaolinit (Tonerde, Porzellan - Erde) ($(OH)_8Al_4[Si_4O_{10}]$)</p> <p><u>Montmorillonit</u> (Bentonit) ($(OH)_4Al_4[Si_8O_{20}]$)</p>	1	2,6	nur im Elek - tronemikro - skop erkennbar	F siehe 1 Str. weiß
<p>(Rhomboedrische Karbonate)</p> <p><u>Kalkspat</u> (Calcit) $CaCO_3$</p> <p><u>Dolomit</u> (Dolomitspat) $CaMg(CO_3)_2$</p>	3 3 1/2 - 4 (als Gestein härter!)	2,7 - 2,8	B spröde S siehe 1 B spröde S vollkommen spaltbar nach 3 Ebenen (Größere Kristalle jedoch selten)	F siehe 1 Str. weiß F grau, weiß, gelblich Str. weiß

Mineral bzw. Mineralgruppe chem. Zusammensetzung	1. Wichtigste Erkennungsmerkmale	2. Härte H	3. Dichte D	4. Bruchform B Spaltbarkeit S	5. Farbe F Strich Str.
<p>(Sulfate) <u>Gips</u></p> <p>(Gipsspat) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>Verschiedenste "flaue" Farben, auch weiß oder farblos durchscheinend, mit Fingernagel leicht ritzbar, vollkommen spaltbar. Spaltblättchen nicht elastisch. Gibt beim Erhitzen Kristallwasser ab.</p>	1 1/2 - 2	2,2 - 2,4	B muschelig bis faserig S vollkommen nach 1 Ebene deutlich nach 2	F siehe 1 Str. weiß
<p><u>Anhydrit</u></p> <p>CaSO_4</p>	<p>farblos bis hellgrau oder bläulich, auffallender Glasglanz, vollkommen spaltbar; oberflächlich häufig in den viel weicherem Gips umgewandelt.</p>	(3) - 4	2,9 - 3,0	B splittig-spöde S vollkommen nach 2 Ebenen	F siehe 1 Str. weiß
<p><u>Schwerspat</u></p> <p>(Baryt) BaSO_4</p>	<p>auffällig schwer (D = 4,1 !) weiß, grau, gelblich; vollkommen spaltbar mit deutlichem Glasglanz auf den Spaltflächen</p>	3 - 3 1/2	4,1	B spröde-muschelig S vollkommen nach 2 Ebenen	F siehe 1 Str. weiß
<p>(Sulfidisches Erz) <u>Pyrit</u></p> <p>(Schwefelkies) FeS_2</p>	<p>im frischen Zustand auffallend messinggelb; bunte Anlauffarben häufig; Kristalle vorwiegend würfelig Strich schwarzgrau bis grünlich-schwarz; verwittert zu gelbbraunem Limonit; beim Erhitzen stechender Schwefelgeruch</p>	6 - 6 1/2	5 - 5,2	B uneben-muschelig S schlecht bis fehlend	F siehe 1 Str. siehe 1

Mineral bzw. Mineralgruppe chem.Zusammensetzung	1. Wichtigste Erkennungsmerkmale	2. Härte H	3. Dichte D	4. Bruchform B Spaltbarkeit S	5. Farbe F Strich Str.
(Hydroxid) <u>Limont (-Gruppe)</u> (Eisenoxidhydrat) $Fe_2O_3 \cdot n \cdot H_2O$	bei Berührung gelbbraun <u>abfärbend</u> ! gelbe bis ockerige, meist erdig - weiche Massen als Verwitterungsprodukt eisenhaltiger Minerale ("Rost").	1 - 5 !	um 4	S keine	F gelb - braun bis schwarz-braun Str. siehe 1
(Halogen) <u>Steinsalz</u> (Halit) NaCl	Zungenprobe: Salzgeschmack (sehr leicht wasserlöslich !) vollkommen spaltbar nach den Würfelflächen	2 - 2 1/2	2,1 - 2,3	B spalttrig-spröde S siehe 1	F wenn rein farblos - durchscheinend, sonst weiß, grau, rot, seltener auch blau Str. farblos
(Element) <u>Graphit</u> C (Schichtgitter)	bei Berührung stahlgrau bis schwarz <u>abfärbend</u> . Fühlt sich fettig an; sehr weich.	1	2,1 - 2,3	B uneben S vollkommen nach 1 Ebene	F stahlgrau bis schwarz Str. grau - schwarz schimmernd



GEOLOGIE

220 001 VU

Unterlagen zur Geologieübung
ERSTARRUNGSGESTEINE

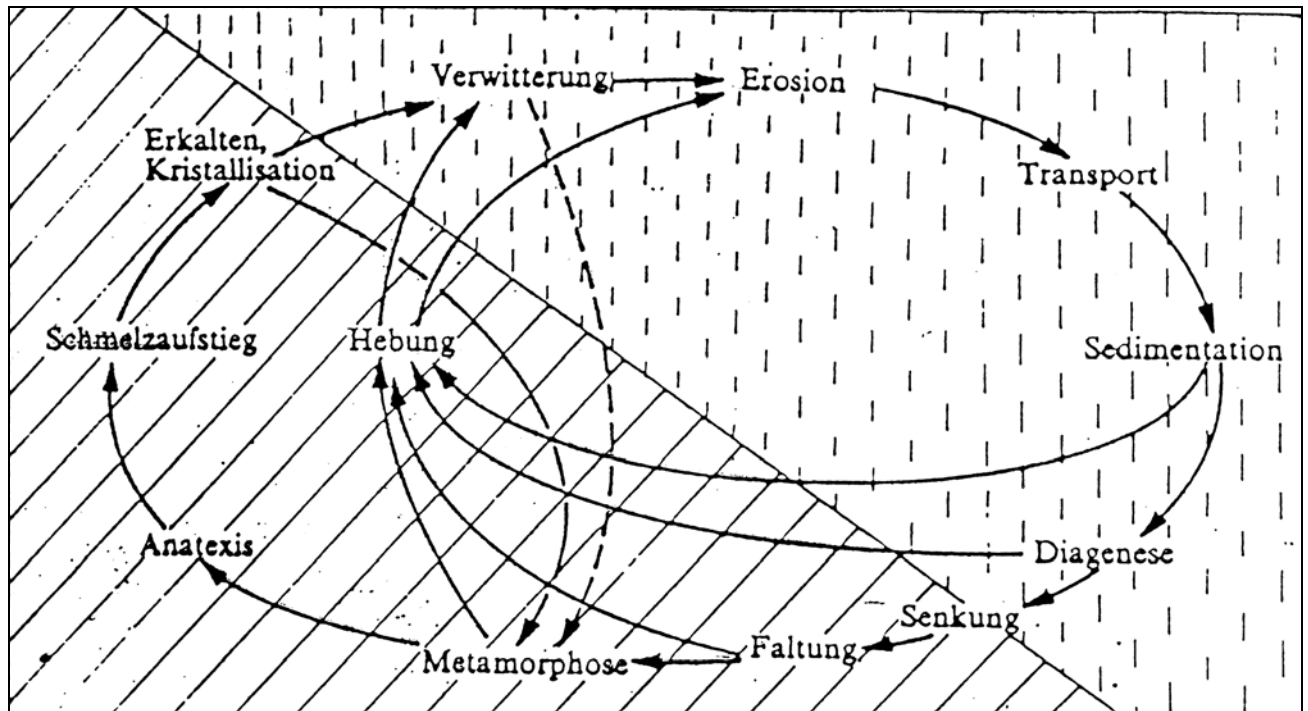
WS 2022 / 2023



Institut für Geotechnik
Forschungsbereich für Ingenieurgeologie

Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/220-1, A-1040 Wien, Tel.: +43-1-58801-20301
Email: christine.cerny@tuwien.ac.at
<http://www.ig.tuwien.ac.at>

Der Stoffkreislauf in der Erdkruste (H.-G. Wunderlich 1968)



Die an der Erdoberfläche exponierten Gesteine **verwittern** (fortschreitende Zermürbung des Gesteins) und werden dadurch für die Abtragung (**Erosion**) vorbereitet. Der Abtragungsschutt wandert unter Einwirkung der Schwerkraft, des Wassers, Eises oder des Windes mehr oder weniger weit bis zu einem neuen Ort der Ablagerung (**Sedimentation**). Die **Diagenese** beginnt bereits kurz nach der Sedimentation bei geringer Bedeckung, ebenfalls oberflächennah.

Faltung, **Metamorphose**, Aufschmelzung (Anatexis) und Schmelzaufstieg vollziehen sich dagegen in der Tiefe der Erdkruste (z.T. auch im Mantel der Erde unterhalb der Erdkruste; schräg schraffiert). Die im Schema eingezeichnete Trennungslinie ist jedoch nicht scharf. Es gibt Übergänge, z.B. zwischen Diagenese und Metamorphose.

Wunderlich, H.G.: Einführung in die Geologie. Exogene Dynamik. Band 1 – Bibliographisches Institut Mannheim/Zürich. Hochschultaschenbücher-Verlag, 1935.

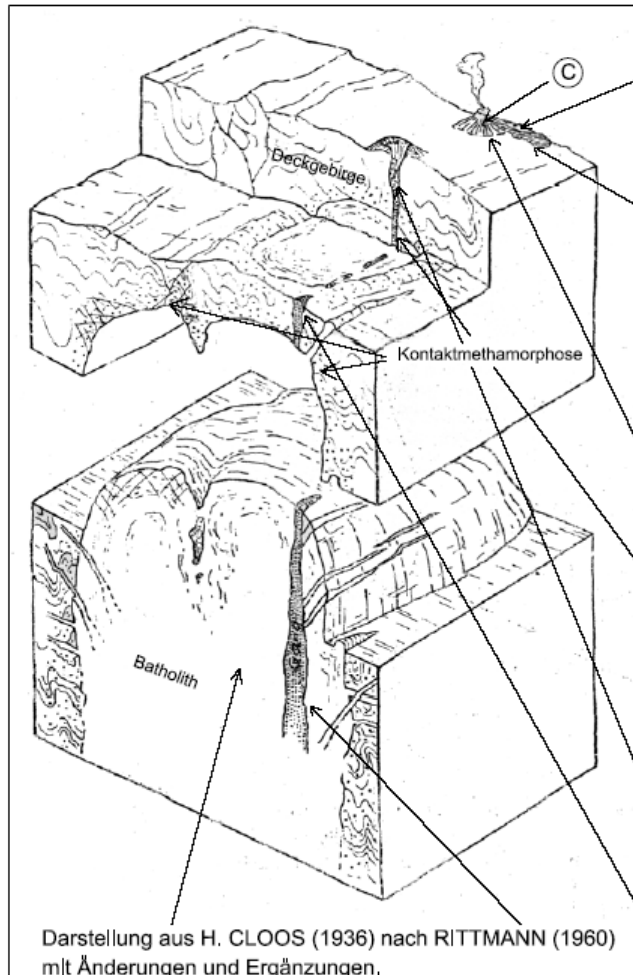
Gruppe	Untergruppe	Entstehung	Beispiele
Magmatische Gesteine (Erstarrungsgesteine)		Gesteinsschmelze	
	Plutonite (Tiefengesteine)	Abkühlung und Kristallisation in der Tiefe	Granit, Diorit, Syenit, Gabbro
	Vulkanite (Ergußgesteine)	Abkühlung und Kristallisation an oder nahe der Erdoberfläche	Quarzporphyr, Andesit, Basalt, Schlackenlava, Bimsstein, Obsidian
	Ganggesteine	Abkühlung und Kristallisation in Gängen	Pegmatit, Aplit, Gangquarz, Porphyrit
Sedimentgesteine (Ablagerungsgesteine)		Verwitterung, Erosion, Transport, Ablagerung oder chemische Fällung	
	klastische Sedimentgesteine (Trümmergesteine)	mechanische Zertrümmerung, Transport - Ablagerung, Verkittung (Diagenese)	Schutt - Brekzie, Kies - Konglomerat, Sand - Sandstein, Schluff - Schluffstein, Ton - Tonstein, Mergel
	biogene Sedimentgesteine	vorwiegend Kalkproduktion durch Tiere und/oder Pflanzen	Kalkstein, Dolomit, Kieselgur, Hornsteinkalk
	chemische Sedimentgesteine	chemische Fällung durch Verdunstung von Lösungen	Anhydrit, Gips, Steinsalz, Kalksinter, Kalktuff
Metamorphe Gesteine (Umwandlungsgesteine)		1. unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen (gerichteter Druck) (2. unter erhöhter Temperatur - durch Vulkanismus)	
	Orthogesteine	aus magmatischen Gesteinen	Gneis, Diabas, Grünschiefer, Amphibolit, Eklogit
	Paragesteine	aus Sedimentgesteinen	Phyllit, Glimmerschiefer, Marmor, Quarzit, Granulit, Serpentin

Einteilung der natürlichen Gesteine nach ihrer Entstehung

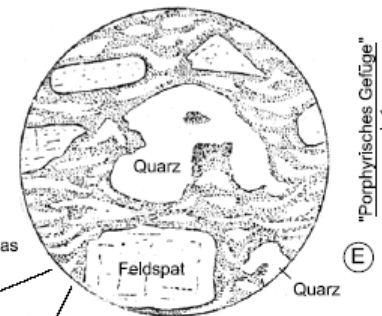
Platznahme der Erstarrungsgesteine

Vulkanische und subvulkanische Gesteine (B) - (E)

Tiefengesteine (Plutonite) (A) (Schliff-Bilder A - E, etwa 10 * vergrößert !)

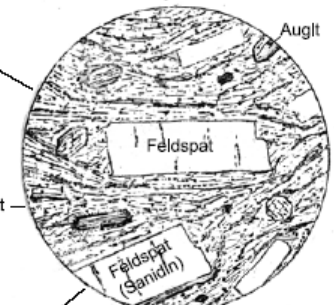


Darstellung aus H. CLOOS (1936) nach RITTMANN (1960) mit Änderungen und Ergänzungen.



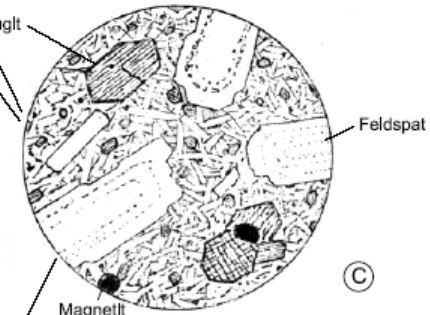
"Porphyrisches Gefüge" vgl. 1

glasige Außenhaut von Lavamassen
glasiges Fließgefüge
angeschmolzener Quarz und Feldspat
liegen in einer verschmolzenen
glasigen Grundmasse.



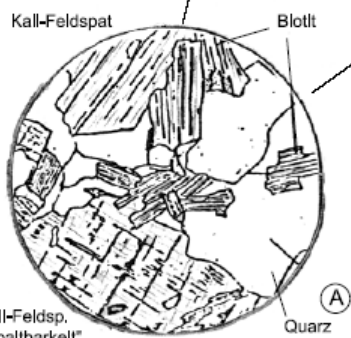
"Porphyrisches Gefüge" d.h. größere Einsprenglinge sind in +/- feine Grundmasse eingebettet

Lava-Fließgefüge: Feldspateinsprenglinge, Augite und Biotit liegen in einer fluidal angeordneten Grundmasse von Feldspateistichen u. Glas.



(C)

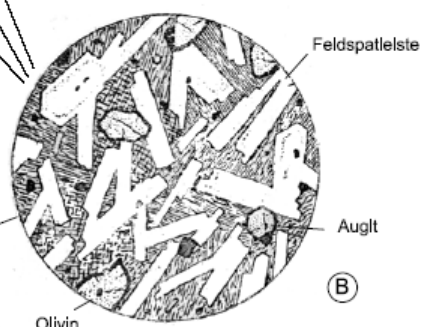
vollkristallines, porphyrisches Gefüge: Ganggestein oder Innenteil eines Lavakörpers z.B. Augit und Feldspateinsprenglinge in einer Grundmasse derselben Minerale.



vollkristallines Gefüge: saures Tiefengestein, Granit bestehend aus Quarz Feldspat (Kalkfeldspat) Biotit (dunkler Glimmer)

Kalk-Feldsp. "Spaltbarkeit"

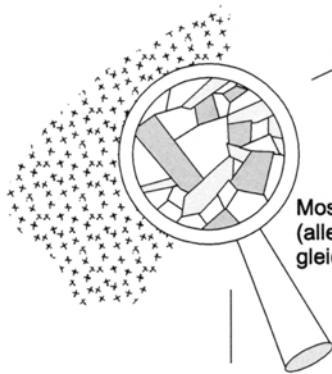
(A)



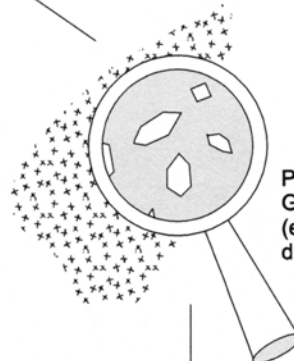
vollkristallines, ophitisches Gefüge: subvulkanischer Stock Innenteile größerer Lavamassen z.B. Feldspat (Plagoklas) Augit Olivin als korrodierte Kristalle.

(B)

Magmatische Gesteine
(regelloses Gefüge)



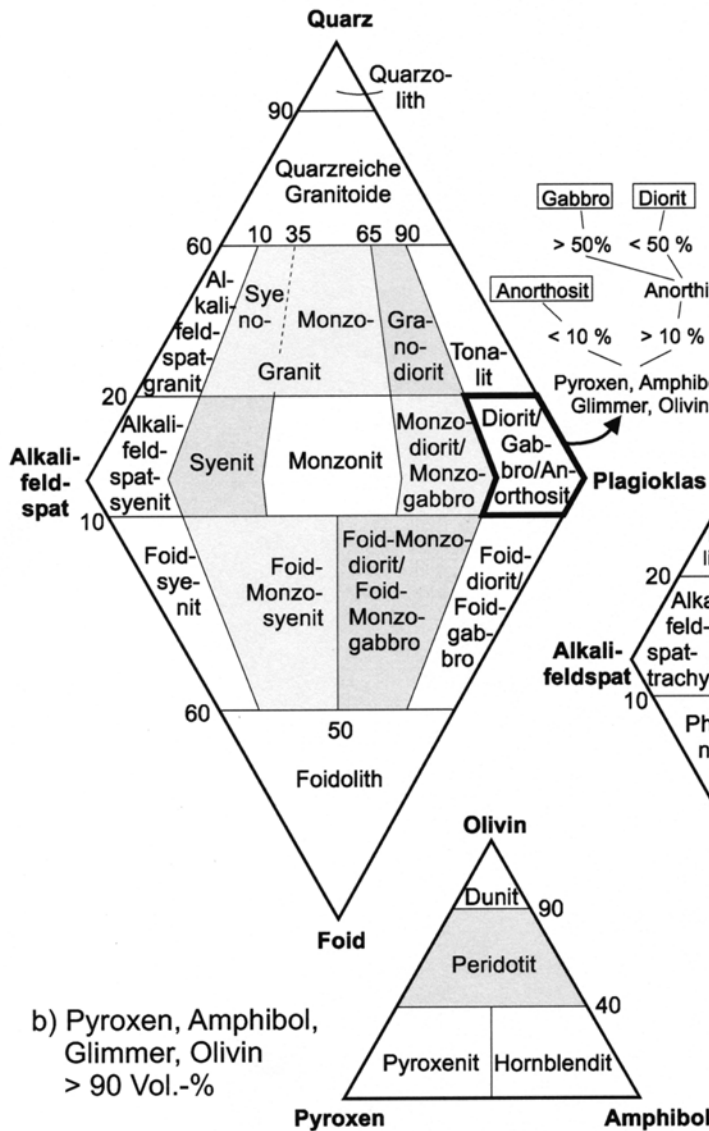
Mosaikgefüge
(alle Kristalle annähernd gleichgroß)



Porphyrisches Gefüge
(einzelne Kristalle in dichter Matrix)

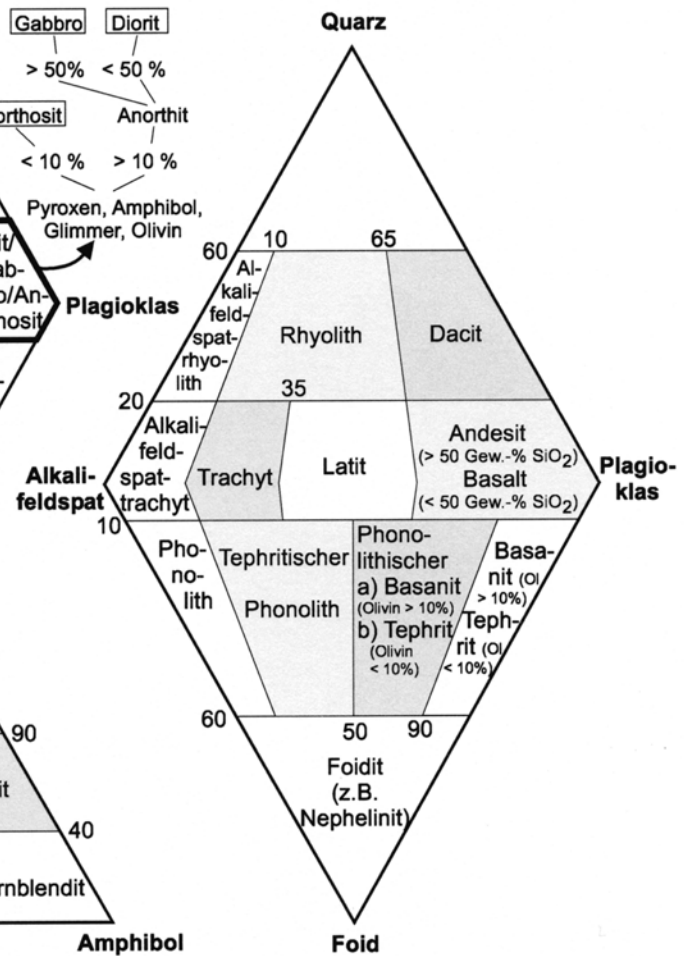
Plutonite (Tiefengesteine)

a) Pyroxen, Amphibol, Glimmer, Olivin < 90 Vol.-%



b) Pyroxen, Amphibol, Glimmer, Olivin > 90 Vol.-%

Vulkanite (Eruptivgesteine)



Die Ansprache magmatischer Gesteine, vereinfacht nach Le Maitre et al. 2004

ERSTARRUNGSGESTEINE - MAGMATISCHE GESTEINE - MAGMATITE (stark vereinfachte Übersicht)

		ultrabasisch 35 - 45%	basisch 45 - 55%	intermediär 45 - 65%	sauer 65 - 80%		
		I.a. zunehmende Mineralkorngröße →					
"PLATZNAHMEN"	an der Ober- fläche und ober- flächennahe	ERGUSSGESTEINE Vulkanite	BASALT (Schlackenlava, Mandelstein) DOLERIT DIABAS	Andesit Trachyt	QUARZPORPHYR PECHSTEINPORPHYR (Obsidian)		
	in einem Zwischen- bereich	GANGGESTEINE	Lamprophyr	PORPHYRIT	GANGQUARZ Aplit Feldspat, Quarz Pegmatit Biotit (Muskovit), Feldspat Quarz		
	In mehreren Kilometern Tiefe	TIEFENGESTEINE Plutonite	GABBRO Pyroxen, Feldspat, +/- Hornblende, Erz	DIORIT SYENIT Biotit, Hornblende, Feldspat kein Quarz !	GRANIT Biotit (Muskovit), Feldspat Quarz		
Eigenschaften der voll aus- kristallisierten Tiefengesteine in Abhängigkeit vom Chemismus bzw. Mineralbestand (Mineralkorngröße beachten !)		3,4 g/cm ³ 340 N/mm ² ←	dunkel zunehmend zunehmend zunehmend zunehmend abnehmend abnehmend	Farbe Rohdichte Wärmedruckfestigkeit Hitzebeständigkeit Affinität zu Bitumen Schneidbarkeit Abrasivität Silikosegefahr Radioaktivität	hell abnehmend abnehmend abnehmend abnehmend zunehmend zunehmend zunehmend	2,6 g/cm ³ 160 N/mm ² →	

Bestimmungshilfe für das Erkennen von Erstarrungsgesteinen 1

Minerale – sind natürlich entstandene Festkörper, sie haben eine spezifische chemische Zusammensetzung und dreidimensional-periodischen Aufbau; sie zeigen anisotrope physikalische Eigenschaften. Derzeit sind mehr als 4660 Minerale bekannt.

Gesteine – sind heterogene, aus mehreren Mineralen zusammengesetzte Naturkörper, natürliche Gesteinsgläser oder natürlich vorkommende, feste organische Materialien.

Magmatische Gesteine (Erstarrungsgesteine) – entstehen durch Abkühlung aus einer Gesteinsschmelze (Magma). **Porphy**r ist eine beschreibende Bezeichnung für magmatische Gesteine in denen sich relativ große Kristalle in einer viel feinkörnigeren oder sogar glasigen Matrix befinden.

In den magmatischen Gesteinen unterscheidet man Plutonite (Tiefengesteine), die in der Erdkruste, in einigen km Tiefe, sehr langsam abkühlen und auskristallisieren von Vulkaniten (Ergussgesteinen), die an der Erdoberfläche sehr rasch abkühlen. Wegen der unterschiedlichen Abkühlungsbedingungen und Abkühlungsgeschwindigkeiten unterscheiden sich diese beiden Gruppen meist sehr deutlich:

Plutonite sind mittel- bis grobkörnig, bestehen aus gut auskristallisierten Mineralen und haben fast keine Porosität (Lupe!).

Vulkanite sind mittel- bis sehr feinkörnig, bei sehr rascher Abkühlung entsteht vulkanisches Glas.

Gesteine, die in der Erdkruste, aber nahe der Erdoberfläche in Gängen (Spalten) abkühlen nennt man **Ganggesteine**.

VULKANITE

Basalt – dunkle Farbe; sehr fein-kristallin; ohne Poren relativ hohe Dichte.

Schlackenlava – Basalt mit zahlreichen kleinen Hohlräumen.

Mandelstein – Schlackenlava, in der die Hohlräume durch Kalzit ausgefüllt wurden (verd. Salzsäure!)

„Sonnenbrenner Basalt“ – Basalt mit weißlichen Flecken; zerfällt in kleine Bruchstücke [*Ursache ist der Gehalt an bestimmten Mineralen (Foide), die sich durch Verwitterung zu Zeolith-Mineralen umwandeln*].

Dolerit – dunkle Farbe; etwas grobkörniger als Basalt; relativ hohe Dichte.

Diabas – dunkle, grünliche Farbe [*entsteht durch Umwandlung aus Basalt; grüne Farbe durch Chlorit-Bildung*].

Obsidian – schwarze Farbe; „vulkanisches Glas“; muscheliger Bruch mit sehr scharfen Kanten.

Bimsstein – weiß bis hellgraue Farbe; sehr porös und leicht (schwimmt in Wasser!).

Quarzporphyr – mm-große Feldspat- und Quarz-Kristalle in einer sehr feinkörnigen Matrix (Lupe!).

Pechsteinporphyr – mm-große Feldspat- und Quarz-Kristalle glasiger Obsidian-Matrix (Lupe!).

Bestimmungshilfe für das Erkennen von Erstarrungsgesteinen 2

GANGGESTEINE

Porphyrit – dunkle Farbe; mm-große Feldspat-Kristalle in einer sehr feinkörnigen Matrix (Lupe!).

Gangquarz – weiß bis hellgraue Farbe; sehr unregelmäßiger Bruch; ritzt Glas.

PLUTONITE (Tiefengesteine)

Gabbro – sehr dunkle Farbe; kristallin; mittel- bis grobkörnig; relativ hohe Dichte.

Diorit – dunkle Farbe; kristallin; mittel- bis grobkörnig.

Syenit – dunkle Farbe; kristallin; mittel- bis grobkörnig; enthält viel (Alkali-)Feldspat.

Granit – mehrere Stücke in Lade(!); helle Farbe; kristallin; mittel- bis grobkörnig; enthält Feldspäte [weiß, rosa oder rote Farbe, gute Spaltbarkeit (Lupe!)], Quarz [durchscheinend, gräulich, unregelmäßige Form] und Glimmer [kleine, längliche Blättchen].

bi.geo

GEOLOGIE

220 001 VU

Unterlagen zur Geologieübung
SEDIMENTGESTEINE

WS 2022 / 2023



Institut für Geotechnik
Forschungsbereich für Ingenieurgeologie

Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/220-1, A-1040 Wien, Tel.: +43-1-58801-20301
Email: christine.cerny@tuwien.ac.at
<http://www.ig.tuwien.ac.at>

Stark vereinfachte Tabelle der häufigsten

Sedimentgesteine

Die angeführten Sedimente können in allen Übergängen von locker (unverfestigt) bis verfestigt vorkommen!

VERFESTIGUNG = DIAGENESE

		Klastische Sedimente (Trümmergesteine)				Biogene Sedimente		Chemische Sedimente (Evaporite)
Transportmedium	locker	Steine 63mm	Kies 2mm	Sand 0,06mm	Silt (Schluff) 0,002mm	Ton	Karbonate metasomatisch verändert	organische Substanzen
		Schutt (eckig) Geröll, Kies (gerundet)	Sand	Silt (Schluff)	Rohnton (mechan. zerrieben) Tonminerale (Verwitterungsbildung)			
Wasser, bzw. Schwerkraft	verfestigt	Breccien (eckig) Konglomerat (gerundet)	Zementation (Verfestigung)*				Kalke Schlammkalke, Fossilienkalke, Kalktuff, Travertin, Kieselkalke	Lignit Braunkohle Glanzkohle Steinkohle Anthrazit
			Sandstein Quarzsandst. & Kalksandst.	Siltstein	Tonstein			
Wind			Dünensand	Löss				Erdöl Erdgas
Eis		unterschiedliches Moränenmaterial						
Vulkan.	Bomben Blöcke	Lapilli	Vulkanische Asche	Vulkanischer Staub				

Kalke
Schlammkalke, Fossilienkalke, Kalktuff, Travertin, Kieselkalke

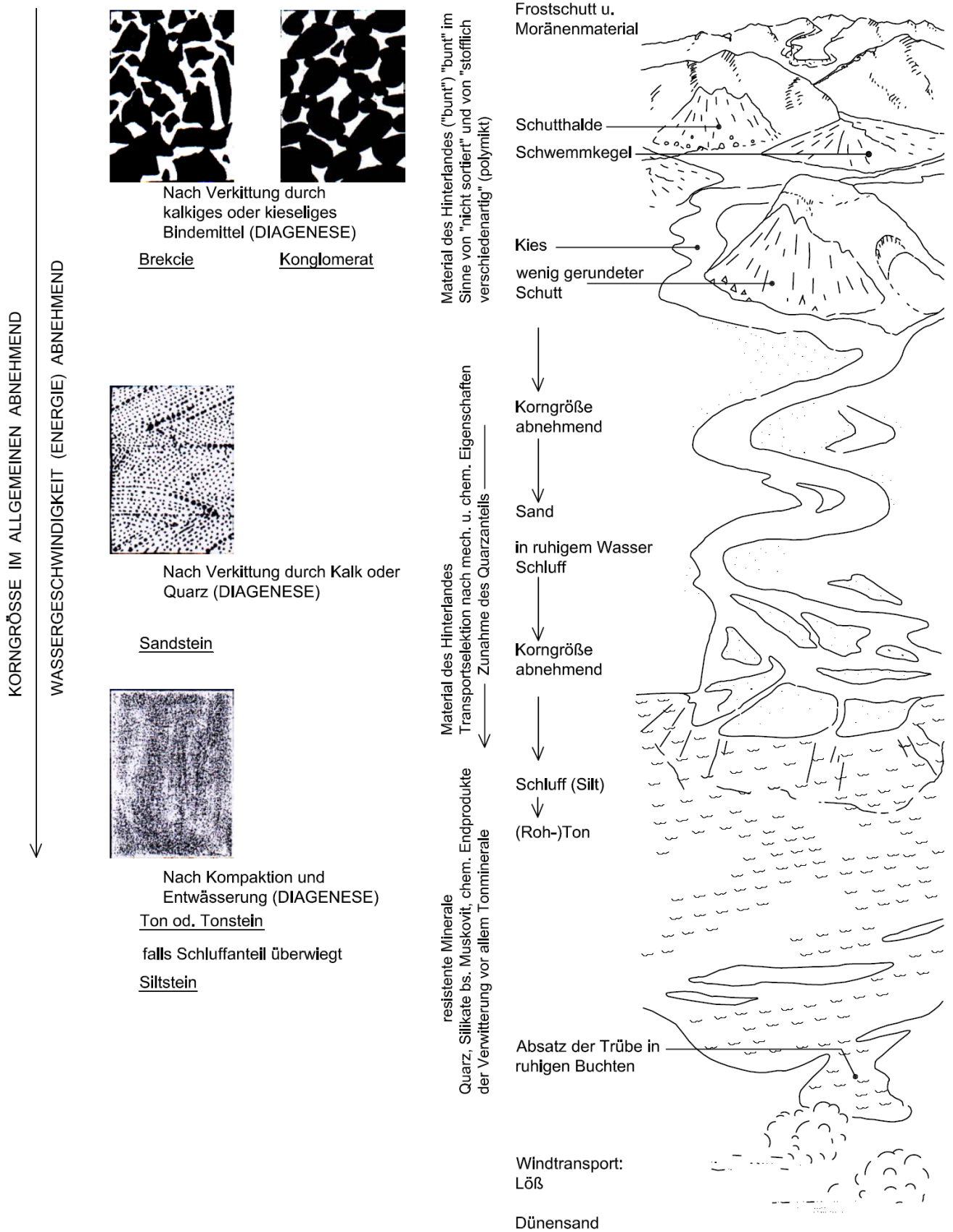
Tonmergel
10-30% CaCO₃
Mergel
30-85% CaCO₃
mergel. Kalk
85-95% CaCO₃
Kalk
>95% CaCO₃

dolom. Kalk
15-25% MgCO₃
kalk. Dolomit
25-40% MgCO₃
Dolomit
>40% MgCO₃

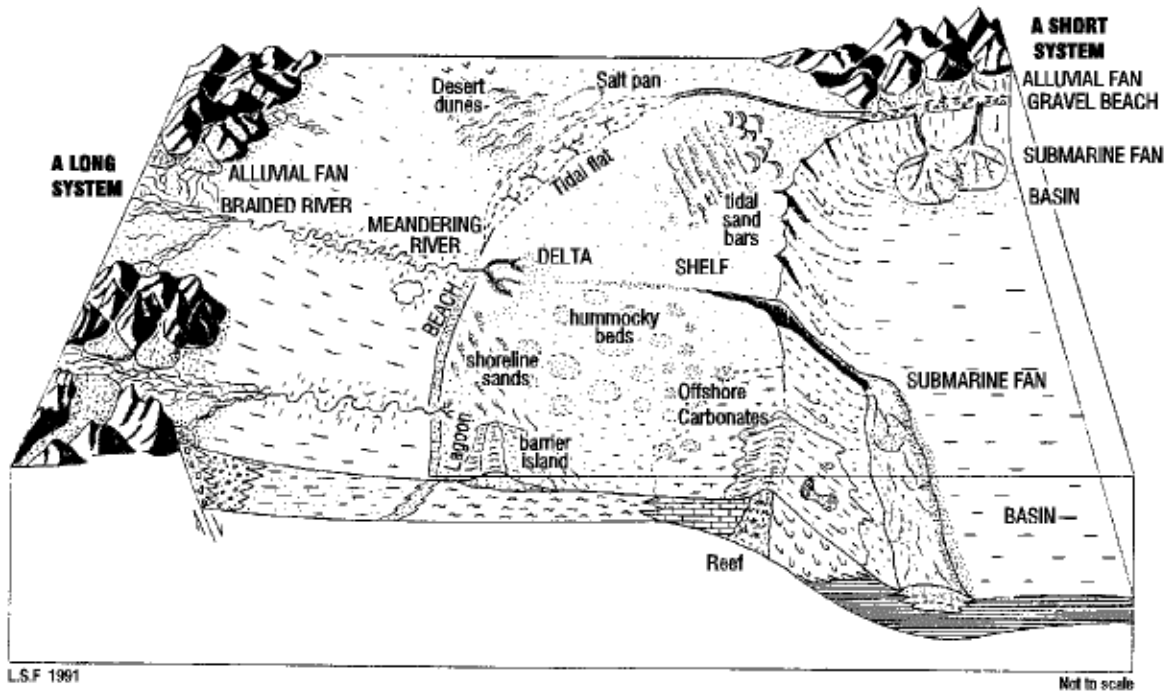
* Kompaktion ist veränderlich fest! (diese Eigenschaft kann in Baugruben gefährlich sein, da diese Sedimente im bergfäuchten Zustand relativ standfest sind, aber nach dem Ausdröcknen und neuerlichem Feuchtwerten nicht mehr stabil sind.
Im Unterschied ist Zementation unveränderlich fest.
** Dolomit ist in basischem Milieu leicht löslich
Kalk ist in saurem Milieu leicht löslich

Rauwacke**
Hornstein
(oft als Lage in Kalk)

SEDIMENTE: TRÜMMERGESTEINE (Klastische Sedimente)



Transport und Ablagerung von klastischen Sedimenten



Hjulström-Diagramm: Beziehung Korngröße und Fließgeschwindigkeit

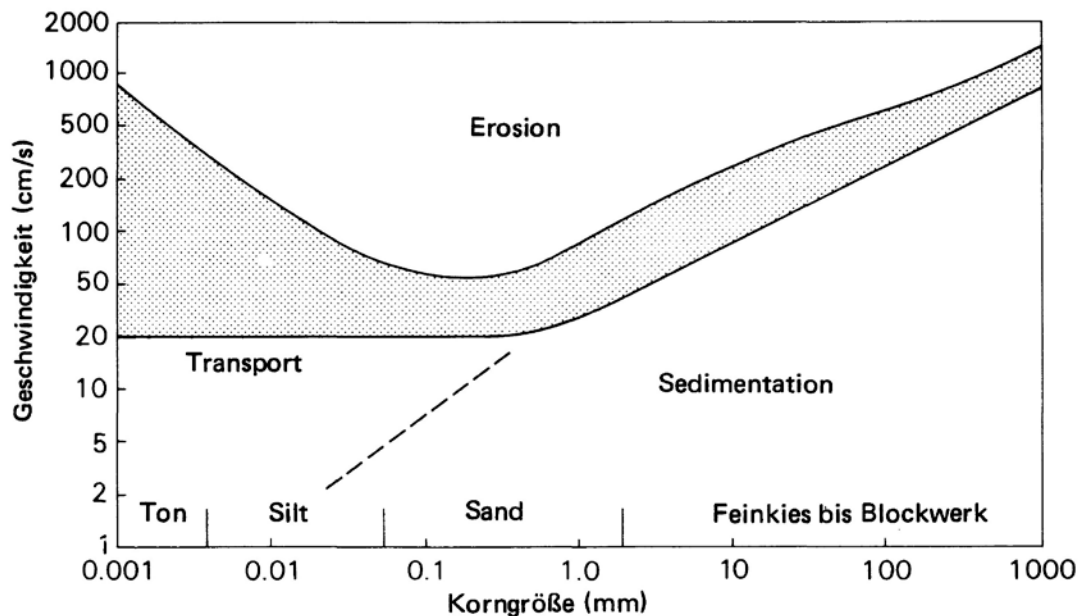


Abb. 2.13 Hjulström-Kurve: Beziehung zwischen Korngröße und notwendiger Fließgeschwindigkeit für die Bewegung von Sediment-Teilchen (kritische Erosions-Geschwindigkeit). Die Beziehung beruht auf experimentellen Untersuchungen an Fließkanälen von 1 m Tiefe. Die gepunktete Zone zeigt die Streubreite der Daten. Die zunehmende Breite der Zone im Feinbereich reflektiert die kohäsiven Kräfte stärker verfestigter Sedimente (bei größerer Konsolidation der Sedimente sind höhere Erosions-Geschwindigkeiten notwendig)

Klassifikation von klastischen Sedimenten

nach Korngröße:

Korngrößeneinteilung der Sedimente und Sedimentgesteine nach DIN 4022

Kies		2	bis	63	mm
	Grobkies	20	bis	63	mm
	Mittelkies	6,3	bis	20	mm
	Feinkies	2	bis	6,3	mm
Sand		0,06	bis	2	mm
	Grobsand	0,6	bis	2	mm
	Mittelsand	0,2	bis	0,6	mm
	Feinsand	0,06	bis	0,2	mm
Schluff		0,002	bis	0,06	mm
	Grobschluff	0,02	bis	0,06	mm
	Mittelschluff	0,006	bis	0,02	mm
	Feinschluff	0,002	bis	0,006	mm
Ton		< 0,002 mm			

nach Korngröße und Zusammensetzung:

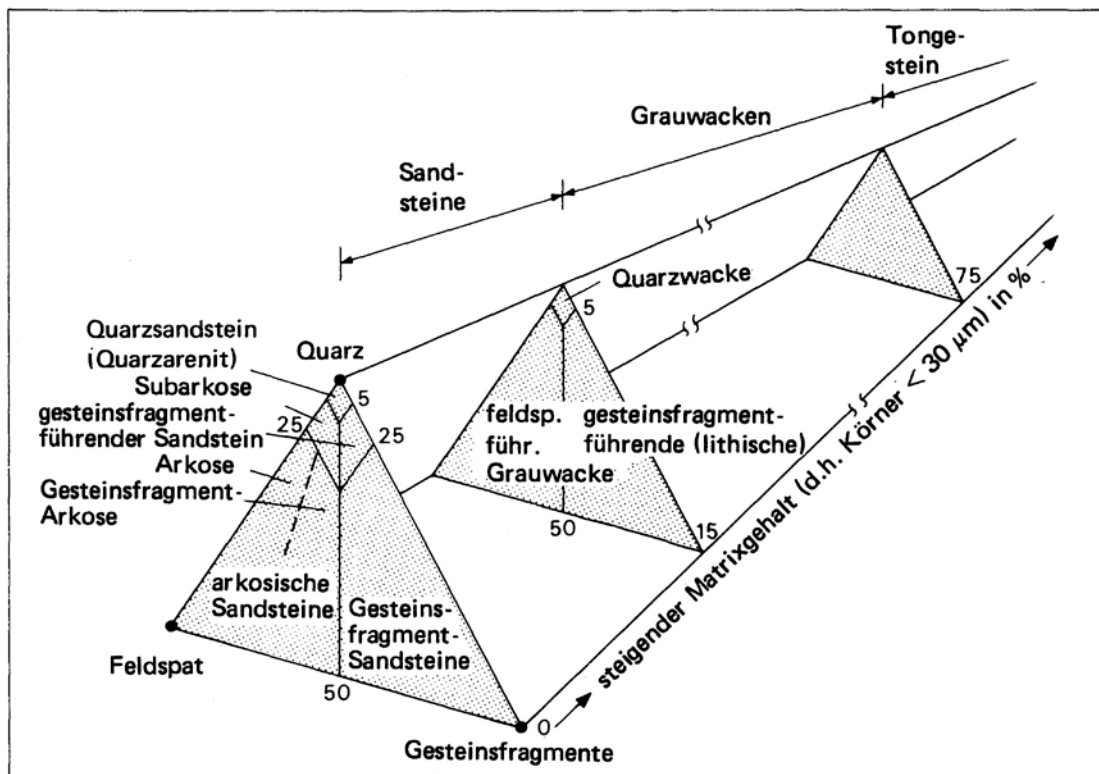


Abb. 2.39 Klassifikation der Sandsteine (aus PETTIJOHN et al. 1973)

siehe als Überblick: Tucker, M. 1985: Einführung in die Sedimentpetrologie. Enke, Stuttgart, 265 S.

Beschreibende Eigenschaften von klastischen Sedimenten 1

Rundungsgrad:

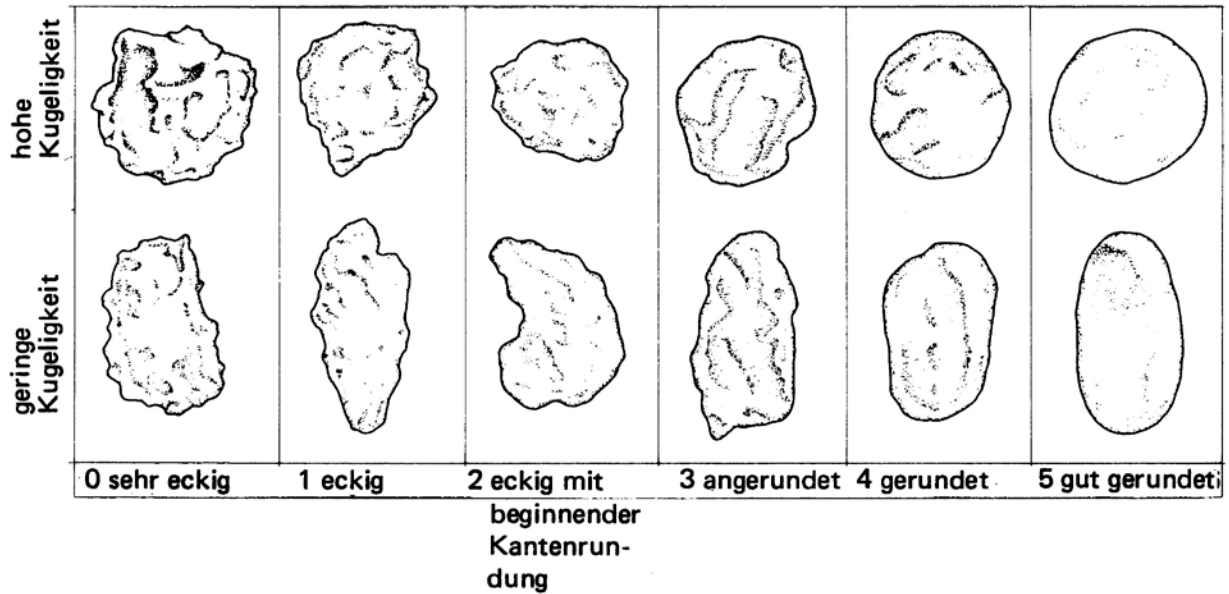


Abb. 2.5 Rundungsgrade von Sedimentkörnern. Für jede Klasse ist ein Korn mit geringer und hoher Kugeligkeit dargestellt (nach PETTJOHN et al. 1973)

Kornform:

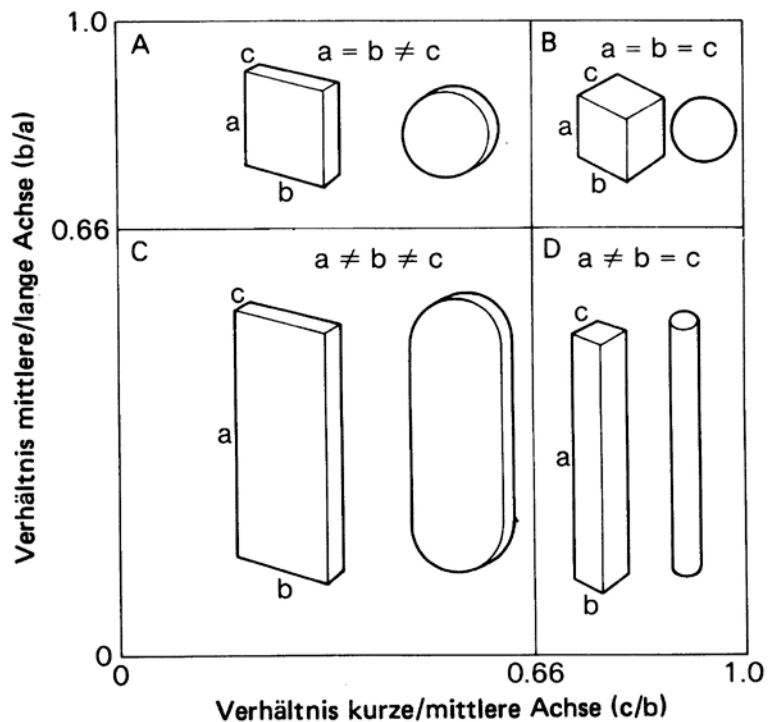
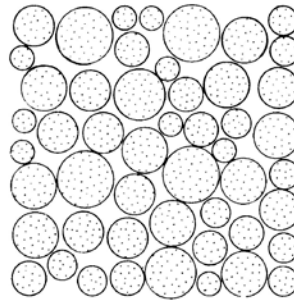


Abb. 2.4 Kornform entsprechend dem Verhältnis von längster (a), mittlerer (b) und kurzer (c) Achse (nach T. ZINGG). Man unterscheidet 4 Klassen: A: tafelig oder plattig (oblate), B: isometrisch (equant), C: flachstengelig (bladed) und D: stengelig (rodshaped). Für jede Klasse ist eine Kornform mit dem Rundungsgrad 0 und 6 dargestellt

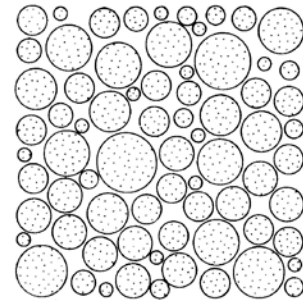
Beschreibende Eigenschaften von klastischen Sedimenten 2

Sortierung:

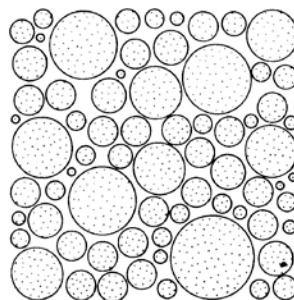
Abb. 2.3 Vergleichsschaubilder für visuelle Abschätzung der Sortierung (nach PETTJOHN et al., 1973) sehr gut sortiert $\sigma = 0,35$; gut sortiert $\sigma = 0,5$; mäßig sortiert $\sigma = 1,0$; schlecht sortiert $\sigma = 2,0$



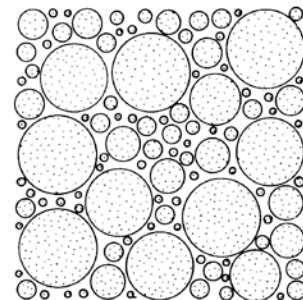
sehr gut sortiert $\sigma = 0,35$



gut sortiert $\sigma = 0,5$



mäßig sortiert $\sigma = 1,0$



schlecht sortiert $\sigma = 2,0$

Korngefüge:

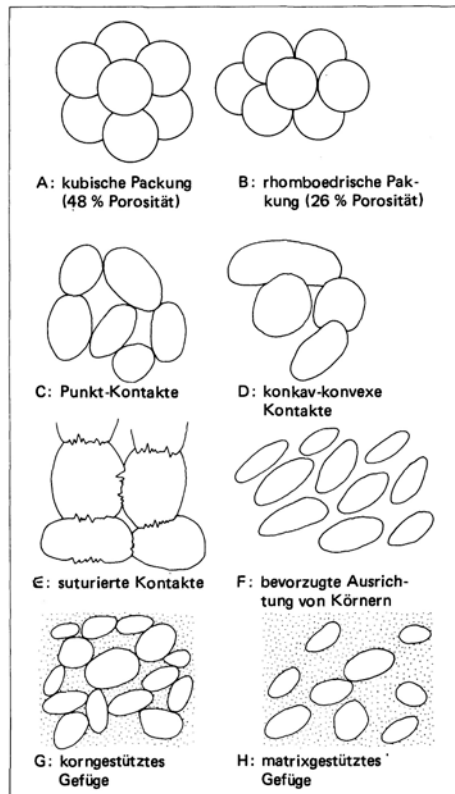


Abb. 2.7 Korngefüge von Sedimenten: Packungsdichte, Kontakte und Ausrichtung der Körner, Korn-Matrix Beziehung

Bestimmungshilfe für das Erkennen von Sedimenten 1

Allgemein – Sedimente sind unverfestigte Ablagerungen aus Bruchstücken von Mineralen, Gesteinen oder organischen Feststoffen, die durch Wasser, Wind, Eis oder Gravitation transportiert wurden. Sedimente können zusätzlich auch durch chemische Ausfällung von in Wasser gelösten Stoffen entstehen.

Durch die Diagenese (Kompaktion und Zementation) werden Lockersedimente in Sedimentgesteine umgewandelt. Charakteristisch für viele Sedimente und Sedimentgesteine ist die Ausbildung einer **Schichtung** (planare Diskontinuitätsflächen im Gestein, die durch kleine Schwankungen der Sedimentationsbedingungen während der Ablagerung entstehen).

Sedimente können nach ihren unterschiedlichen Entstehungsarten in drei Gruppen unterteilt werden: **klastische Sedimente**, **biogene Sedimente** und **chemische Sedimente** (Evaporite). Diese Bestimmungshilfe, wie auch die Übersichtstabelle der Sedimente, ist nach diesen 3 Gruppen strukturiert.

KLASTISCHE SEDIMENTE

– bestehen aus Bruchstücken von Mineralen und Gesteinen und werden deshalb am einfachsten nach ihrer Korngröße unterteilt.

Lockersedimente

Ton (aus Tonmineralen) – sehr feinkörnig (<0,002 mm – auch mit der Lupe sind keine Minerale erkennbar!); kann mit dem Fingernagel geschabt werden; dabei erhält man sehr feinkörniges Pulver aus Tonmineralen; mit etwas Wasser vermischt entsteht eine knetbare Masse (Ton ist veränderlich fest).

Rohton (aus beliebigen Mineralen) – sehr feinkörnig (<0,002 mm – auch mit der Lupe sind keine Minerale erkennbar!); kann mit dem Fingernagel geschabt werden; dabei erhält man sehr feinkörniges Pulver; falls der Rohton aus feinkörnig zerriebenen Kalk besteht, sehr starke Reaktion mit verdünnter Salzsäure.

Kies – rundliche Gerölle; 2-64 mm Korngröße.

Sedimentgesteine

Quarzsandstein – 0.064-2 mm Korngröße; abgerundete Körner (Lupe!); durch Diagenese verfestigtes Gestein; ritzt Glas; einzelne Körner können mit Eisennagel herausgekratzt werden.

Kalksandstein – 0.064-2 mm Korngröße; abgerundete Körner (Lupe!); durch Diagenese verfestigtes Gestein; reagiert stark mit verdünnter Salzsäure; mit Eisennagel leicht ritzbar.

Konglomerat – Korngröße über 2 mm; rundliche Gerölle; durch Diagenese verfestigtes Gestein.

Brekzie – Korngröße über 2 mm; eckige Fragmente; durch Diagenese verfestigtes Gestein.

Sedimente	Erich Draganits	946a/14
-----------	-----------------	---------

Bestimmungshilfe für das Erkennen von Sedimenten 2

Biogene Sedimente (hauptsächlich Karbonate)

Kalkstein – besteht fast ausschließlich aus Kalzit; reagiert sehr stark mit verdünnter Salzsäure; mit Eisennagel leicht ritzbar; oft sehr unterschiedlich Farbe und Korngrößen; kann Fossilien enthalten.

Dolomit – Mischung aus Kalzit und Magnesit; nur sein Pulver(!) reagiert schwach mit verdünnter Salzsäure; mit Eisennagel ritzbar.

Mergel – enthält Kalzit und Tonminerale; sehr feinkörnig; reagiert stark mit verdünnter Salzsäure (Kalzit-Anteil), produziert dabei aber einen bräunlich-grauen, sehr feinkörnigen unlösbaren Rest (Tonmineralanteil); nach Auftrocknung der verdünnten Salzsäure bleiben helle Flecken zurück; mit Eisennagel ritzbar.

Kalktuff (Travertin) – besteht aus Kalzit; stark porös und deshalb relativ leicht; rundlich-längliche Hohlräume; Abdrücke von Gras und Moos oft erkennbar; sehr leicht mit Eisennagel ritzbar; reagiert stark mit verdünnter Salzsäure.

Rauwacke – besteht aus Kalzit; zahlreiche eckige Hohlräume; leicht mit Eisennagel ritzbar; reagiert stark mit verdünnter Salzsäure.

Hornstein – besteht aus amorphem (nicht kristallinem) Quarz; kann mit Eisennagel nicht geritzt werden; Hornstein kann Glas ganz schwach ritzen; muscheliger Bruch mit sehr glatter Oberfläche; bildet oft Lagen in Kalkstein.

EVAPORITE (chemische Sedimente)

Generell zeigen viele Evaporite einen kristallin-körnigen Aufbau. Beim Drehen im Licht erkennt man zuckerkörnige Reflexionen an den zahlreichen Spaltflächen.

Steinsalz (NaCl) – schmeckt stark salzig; mit Eisennagel leicht ritzbar; wegen der sehr hohen Löslichkeit oft durch häufiges Angreifen abgerundete Kanten.

Gips (CaSO₄·2H₂O) – mit Fingernagel ritzbar; sehr gute Spaltbarkeit;

Anhydrit (CaSO₄) – kristallin-körniger Aufbau; kann mit Eisennagel geritzt werden.

bi.geo

GEOLOGIE

220 001 VU

Unterlagen zur Geologieübung
METAMORPHE GESTEINE

WS 2022 / 2023



Institut für Geotechnik
Forschungsbereich für Ingenieurgeologie

Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/220-1, A-1040 Wien, Tel.: +43-1-58801-20301
Email: christine.cerny@tuwien.ac.at
<http://www.ig.tuwien.ac.at>

Gesteinsmetamorphose

Die **Gesteinsmetamorphose** (gr. meta = mit, um; morphos = Gestalt; Verwandlung, Umgestaltung) sind die Änderungen der mineralogischen Zusammensetzung eines Gesteins durch geänderte Druck- und Temperaturbedingungen.

Die wichtigsten Faktoren der Metamorphose sind: **Druck, Temperatur, Porenwässer (fluids), Zeit**

Unter dem Begriff **Diagenese** werden jene Prozesse zusammengefasst, die Lockersedimenten in feste Sedimentgesteine umwandeln. Die wichtigsten Prozesse dabei sind die Kompaktion und die Zementation. Mit zunehmender Überlagerung durch jüngere Sedimente gelangen ältere Sedimente in größere Tiefen und damit werden sie höheren Drucken, aber auch erhöhten Temperaturen ausgesetzt. Die Diagenese kann deshalb als Anpassung an die erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen angesehen werden. Die Druckerhöhung führt zu einer dichteren Lage der Sedimentkörner zueinander – **Kompaktion** – und der damit einhergehenden Abnahme des Porenraumes und Entwässerung der Sedimente. Gleichzeitig findet eine **Zementation** der ursprünglichen Lockersedimente statt, wobei der verbliebene Porenraum durch Kristallneubildungen (meist Kalzit und Quarz) aus wässrigen Lösungen aufgefüllt wird.

Die Unterscheidung zwischen Diagenese und Metamorphose ist willkürlich, da auch die Metamorphose die Prozesse der Gesteinsumwandlung in Abhängigkeit von Druck und Temperatur beschreibt und die Grenze zwischen den beiden ein gradueller Übergang ist. Jedoch sind die bei der Metamorphose auftretenden Drucke und Temperaturen bei weitem höher als bei der Diagenese. Die Grenze wird meistens bei rund 200°C gezogen, kann aber bei besonderen Gesteinen, z.B. Salz viel niedriger sein).

Bei sehr hohen Temperaturen kann es zum Aufschmelzen – **Anatexis** – der Gesteine kommen. Die Aufschmelzungstemperatur kann je nach der chemischen Zusammensetzung der Gesteine und den Druckbedingungen sehr unterschiedlich sein und Werte etwa zwischen 650-1200°C umfassen. **Die Gesteinsmetamorphose umfasst deshalb Prozesse im Temperaturbereich zwischen rund 200°C und der Schmelztemperatur der jeweiligen Gesteine.**

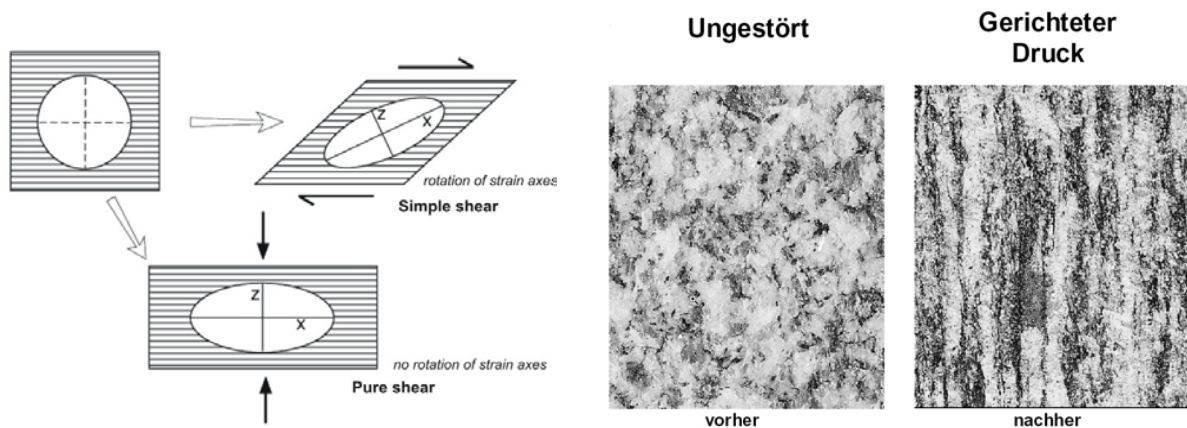
Der geothermische Gradient beschreibt die Temperaturzunahme zum Erdinneren hin. Der durchschnittliche geothermische Gradient beträgt etwa 30 °C/km; dieser Wert kann aber zwischen rund 10 bis 100 °C/km schwanken, wobei die Tiefstwerte in stabilen, alten Kontinentalblöcken und die Höchstwerte in Gebieten mit ausgedünnter, kontinentaler Kruste erreicht werden. In Gebieten mit vulkanischer Aktivität kann der geothermische Gradient sogar an die 300 °C/km erreichen.

[Druck wird heute in der Standard SI Einheit *Pascal* angegeben ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). In der älteren Literatur wird der Druck noch häufig in bar angegeben ($1 \text{ bar} = 1.02 \text{ kg/cm}^2 = 100000 \text{ Pascal}$). In der Erdkruste steigt der Druck mit zunehmender Tiefe um rund 0.1 GPa/3km (= 1kbar/3km).

Jedes spezifische Mineral ist in seiner Zusammensetzung und Aufbau für einen ganz bestimmten Druck- und Temperaturbereich stabil, ändern sich diese Bedingungen, so passen sich die Minerale den neuen Bedingungen an. Diese Anpassungen sind chemische- (z.B. Granat, Glimmer, ...), oder/oder strukturelle Änderungen (z.B. Quarz, Al_2SiO_5 -Minerale) der einzelnen Minerale, die ohne Aufschmelzung oder Änderung der chemischen Gesamtzusammensetzung des Gesteins vor sich gehen! Durch die Metamorphose werden bestehende Minerale verändert, und/oder es entstehen komplett neue Minerale. [Ein Beispiel für Anpassungen an unterschiedliche Umgebungsbedingungen sind die drei Erscheinungsformen von H_2O , das je nach Druck-, und Temperaturbedingungen als Eis, Wasser oder Wasserdampf auftreten kann.]

Das Aussehen eines Gesteins wird durch die Metamorphose stark verändert. Durch Sammelkristallisation kommt es häufig zu einer **Kornvergrößerung** der Minerale (Beispiel: Kalk *versus* Marmor).

Metamorphe Gesteine zeigen fast immer ein mehr oder weniger deutliches Trennflächengefüge (**Schieferung**), das auf Deformation zurückzuführen ist. Dieses Gefüge entsteht durch Rotation der existierenden plattigen (z.B. Glimmer) und länglichen Mineralen (z.B. Amphibole) bei einfacher Scherung (simple shear) und reiner Scherung (pure shear) und durch bevorzugtes Wachstum der neu gebildeten Minerale in Richtung des minimalen Stresses. Die Schieferung ist eine geotechnisch sehr wichtige **Anisotropie** (Richtungsabhängigkeit) der Gesteinsfestigkeit. Dabei ist die Druckfestigkeit, aber auch die Scherfestigkeit parallel zu der Schieferung deutlich herabgesetzt.



Sowohl Sedimente als auch magmatische Gesteine können metamorph überprägt werden. Metamorphe Gesteine werden mit der Vorsilbe „**Meta-**“ versehen um sie so zu kennzeichnen (z.B. Metagranit, Metagrauwacke). Soweit noch erkennbar unterscheidet man auch die Herkunft eines metamorphen Gesteins mit Vorsilben: „**Ortho-**“ kennzeichnet einen magmatischen Ursprung (z.B. Orthogneis); „**Para-**“ kennzeichnen sedimentäre Ursprungsgesteine (z.B. Paragneis).

Viele magmatische und metamorphe Gesteine unter hohen Druck- und Temperaturbedingungen gebildet wurde, deshalb sind sie an der Erdoberfläche nicht stabil und passen sich den geänderten Bedingungen durch **Verwitterung** an, wodurch neue Minerale gebildet werden, die an der Erdoberfläche stabiler sind.

Metamorphose Fazies

Gesteine mit gleicher chemischer Zusammensetzung, die den gleichen Druck- und Temperaturbedingungen ausgesetzt werden, bilden die gleiche Mineral Assoziationen. Diese Mineral Assoziationen unterteilen das P/T Diagramm in verschiedene Faziesbereiche (z.B. Grünschieferfazies, Granulitfazies).

Arten der Gesteinsmetamorphose

Je nach dem Verlauf der Druck- und Temperaturänderungen während einer Metamorphose, werden unterschiedliche Arten unterschieden:

Regionalmetamorphose

Dieser Typ ist am häufigsten zu finden. Dabei geraten Gesteinspartien durch Versenkung unter hohe Druck- und Temperaturbedingungen, die Umwandlung der Minerale gleichermaßen bestimmen.

Druckbetonte Metamorphose

Die Druckbetonte Metamorphose ist ein typisches Kennzeichen von Subduktionszonen. Hierbei wird verhältnismäßig kaltes Material ozeanischer Kruste versenkt. Die dabei ablaufende Metamorphose wird daher von vergleichsweise niedrigen Temperaturen und hohen Drücken bestimmt.

Temperaturbetonte Metamorphose (Kontaktmetamorphose)

Kontaktmetamorphe Gesteine finden sich vor allem Kontaktbereich von magmatischen Intrusionen. Dabei wird das umgebende Gestein durch das heiße Magma erwärmt und umgewandelt.

Schock-Metamorphose

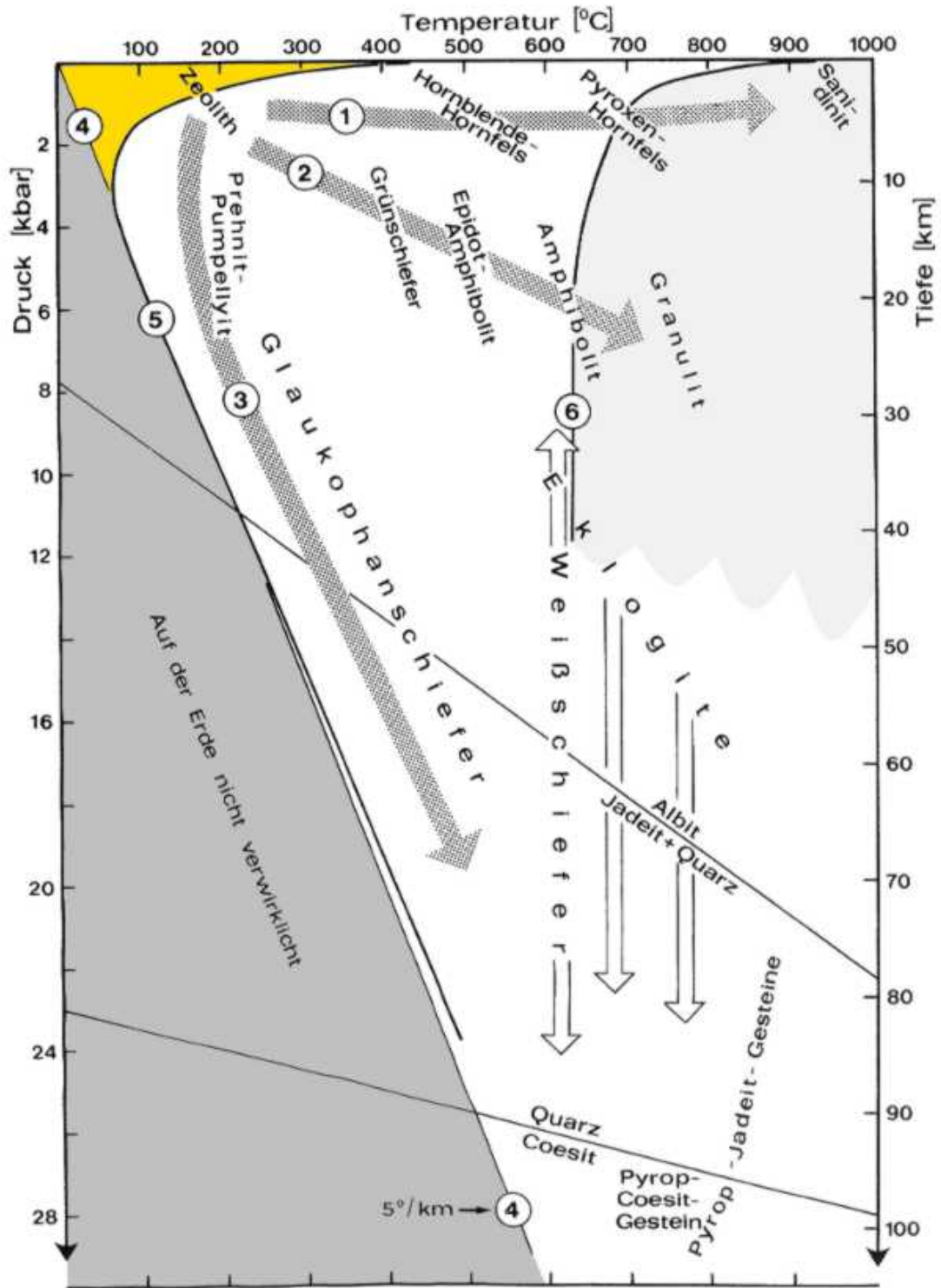
Eine Sonderform der Metamorphose, die durch heftige Stoßwellen hervorgerufen wird und zur Zertrümmerung ganzer Gesteinspartien wie zur Zerstörung von Kristallgittern führen kann. Diese Art der Metamorphose ist auf Meteoritenkrater (und auf die Orte unterirdischer Atombombenversuche) beschränkt. Typische Kennzeichen für die Schock-Metamorphose ist das Auftreten von Hochdruckmineralen wie z. B. Coesit (Hochdruckquarz).

Metasomatose

Die Metasomatose ist ein Sonderfall der Metamorphose, da sie Änderungen in der chemischen Gesamtzusammensetzung des Gesteins verursacht. Metasomatische Prozesse finden vor allem in Endphasen der Differenzierung von Magmen statt. Dabei kommt es meist zu metamorphen Reaktionen von heißen Fluiden und dem Gestein.

Literatur:

- Best, M.G. 2002: Igneous and Metamorphic Petrology. Blackwell, Oxford, 756 p.
 Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1992: An Introduction to the Rock Forming Minerals, Longman, Burnt Mill, 712 p.
 Yardley, B.W.D. 1989: An Introduction to Metamorphic Petrology. Longman Scientific & Technical, 264 p.
 Yardley, B.W.D., and Mackenzie, W.S., & Guilford, C., 1990: Atlas of Metamorphic rocks and their textures. Longman Scientific & Technical, 120 p.



P/T-Diagramm der metamorphen Fazies (nach Schreyer 1985)

- 1 - P-T-Pfad der Niedrigdruckmetamorphose
- 2 - P-T-Pfad der Mitteldruckmetamorphose
- 3 - P-T-Pfad der Hochdruckmetamorphose
- 4 - geothermischer Gradient 5°/km - dunkelgrauer Bereich ist auf der Erde nicht verwirklicht
- 5 - untere Grenze der Gesteinsmetamorphose
- 6 - Granitsolidus - im hellgrauen Bereich ist Granit komplett oder teilweise geschmolzen

Stark vereinfachte Tabelle der häufigsten

metamorphen Gesteine

Die Korngröße ist hauptsächlich abhängig von der Temperatur und der Deformation!

Zonengliederung nach Mineralfazies der Regionalmetamorphose		Ausgangssedimente/-gesteine							Magmatite (Erstarrungsgesteine)	
		Sedimente und Sedimentgesteine							Granit	Basalt
Metamorphosegrad	Ton	kalkiger Tonschlamm	Kalk	Quarzsand	organische Substanzen	Granit	Basalt			
beginnend	Tonstein*	Mergel	Kalk	Quarz-sandstein	Bitumen Kohle					
	Tonschiefer*	Kalk-Tonschiefer		Dolomit			Diabas			
niedrig	Phyllit*	Kalkphyllit		Quarzit (oft mit kleinen Glimmern)		Granit		Grünschiefer		
mittel	Glimmer-schiefer* (oft mit Granat)	Kalkglimmer-schiefer Silikatmarmor	Kalkmarmor (oft mit kleinen Glimmern)	Dolomit-marmor (oft mit klein. Glimmern)	Graphit					
hoch	Paragneis	Para-Amphibolit (z.B. Hornblendengarbenschiefer)				Orthogneis		Amphibolit		
sehr hoch	Granulit								Eklogit	

* Tonstein: sehr feinkörnig, Minerale mit Lupe kaum erkennbar (veränderlich fest).
Phyllit: feinkörnig, Minerale mit der Lupe erkennbar, oft verfallend.
Glimmerschiefer: Minerale mit freiem Auge leicht erkennbar.

Bestimmungshilfe für das Erkennen von metamorphen Gesteinen 1

Allgemein – Metamorphe Gesteine sind unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen in der Erdkruste umgewandelt worden (Metamorphose). Dadurch wandelten sich ehemalige magmatische Gesteine und Sedimentgesteine in metamorphe Gesteine um. Charakteristisch für viele metamorphe Gesteine ist die Ausbildung einer **Schieferung** (planare Diskontinuitätsflächen im Gestein, die durch die Deformation und hauptsächlich durch die Einregelung der blättrigen Glimmerminerale parallel zu diesen Flächen entstehen).

Metamorphose bewirkt eine Umwandlung der Gesteine **ohne Aufschmelzung**, sondern nur durch Diffusion von chemischen Bestandteilen durch das Gestein. Deshalb ist bei vielen metamorphen Gesteinen das unmetamorphe Ausgangsgestein noch erkennbar. Das Aussehen und die mineralogische Zusammensetzung von metamorphen Gesteinen werden sowohl durch die Zusammensetzung des ehemaligen Ausgangsgesteines als auch die durch die jeweiligen Druck- und Temperaturbedingungen kontrolliert. Bei vielen metamorphen Gesteinen ist eine Abfolge von nur schwach metamorphen Ausgangsgesteinen bis hin zu immer stärker umgewandelten metamorphen Gesteinen erkennbar. Deshalb ist diese Bestimmungshilfe wie auch die Übersichtstabelle der metamorphen Gesteine nach den jeweiligen Ausgangsgesteinen geordnet.

Nicht metamorphes Ausgangsgestein: TON

Ton – sehr feinkörnig (<0,002 mm – auch mit der Lupe keine Minerale erkennbar!); kann mit dem Fingernagel geschabt werden; dabei erhält man sehr feinkörniges Pulver aus Tonmineralen; mit etwas Wasser vermischt entsteht eine knetbare Masse (= veränderlich fest).

Tonschiefer – sehr gut entwickelte, ebene Schieferung (deshalb als Dachschiefer verwendet); immer noch sehr feinkörnig (auch mit Lupe keine neugebildeten Minerale erkennbar); unveränderlich fest.

Phyllit – auf Schieferungsflächen ist ein seidenartiger Glanz erkennbar (= neugebildete Hellglimmer); etwas verfaltet; neugebildete Minerale mit der Lupe erkennbar.

Glimmerschiefer – sehr viel Glimmer (blättrige Minerale); deutliche Schieferung; neugebildete Minerale leicht mit freiem Auge erkennbar; manchmal rote Granate enthalten; <20% Feldspat.

Paragneis – enthält viel Glimmer (blättrige Minerale); deutliche Schieferung; neugebildete Minerale leicht mit freiem Auge erkennbar; >20% Feldspat; im Unterschied zum Orthogneis mehr unterschiedliche Minerale.

Bestimmungshilfe für das Erkennen von metamorphen Gesteinen 2

Nicht metamorphes Ausgangsgestein: MERGEL

Mergel – sehr feinkörnig; enthält Kalzit und Tonminerale; reagiert stark mit verdünnter Salzsäure (Kalzitanteil), produziert dabei aber einen bräunlich-grauen, sehr feinkörnigen unlösbaren Rest (Tonanteil); nach Auftrocknung der verdünnten Salzsäure bleibt deshalb ein heller Fleck zurück.

Kalkglimmerschiefer – sehr viel Glimmer (blättrige Minerale); deutliche Schieferung; neugebildete Minerale mit freiem Auge erkennbar; Bereiche quer zur Schieferung reagieren mit verdünnter Salzsäure (Kalzitanteil).

Silikatmarmor – undeutliche Schieferung; enthält viel Kalzit (Mineral mit guter Spaltbarkeit); reagiert stark mit verdünnter Salzsäure (Kalzitanteil); zusätzlich Amphibole (kleine, dunkle, stengelige Minerale; ritzt Glas).

Hornblendenschiefer – enthält Glimmer (blättrige Minerale) und relativ große (>5mm) Amphibole (Hornblende – dunkle, stengelige Minerale mit guter Spaltbarkeit).

Nicht metamorphes Ausgangsgestein: KALKSTEIN

Kalkstein – reagiert sehr stark mit verdünnter Salzsäure; feinkörnig.

Marmor – reagiert sehr stark mit verdünnter Salzsäure; grobkristallin (0,5-3 mm); gute Spaltbarkeit der Kalzitkristalle mit der Lupe gut erkennbar; Spaltbarkeit bewirkt „zucker-körnige“ Reflexionen beim Drehen unter dem Licht; Schieferung kaum erkennbar.

Nicht metamorphes Ausgangsgestein: DOLOMIT

Dolomit – Pulver(!) reagiert schwach mit verdünnter Salzsäure.

Dolomitmarmor – Pulver(!) reagiert schwach mit verdünnter Salzsäure; grobkristallin (0,5-1 mm); gute Spaltbarkeit der Dolomitkristalle mit der Lupe gut erkennbar; Spaltbarkeit bewirkt „zucker-körnige“ Reflexionen beim Drehen unter dem Licht; Schieferung kaum erkennbar.

Nicht metamorphes Ausgangsgestein: QUARZSANDSTEIN

Quarzsandstein – abgerundete Körner (Lupe!); Korngröße 0.064-2 mm (Lupe!); ritzt Glas; einzelne Körner können mit Nagel herausgekratzt werden.

Quarzit – Quarzkörner manchmal noch erkennbar (Lupe!) in Quarzzement; Korngröße 0.064-2 mm (Lupe!); ritzt Glas; nicht mit dem Nagel ritzbar; faktisch keine Porosität.

Bestimmungshilfe für das Erkennen von metamorphen Gesteinen 3

Nicht metamorphes Ausgangsgestein: GRANIT

Granit – grobkristallin; einzelne Kristalle leicht erkennbar; Minerale unregelmäßig im Gestein verteilt; Mineralbestand: Feldspat (tafelförmig, oft weiß, seltener rosa oder grünlich, gute Spaltbarkeit), Glimmer (blättrig, sehr dunkel (Biotit)) und Quarz (blass grünlich, durchscheinend).

Orthogneis – grobkristallin; einzelne Kristalle leicht erkennbar; deutliche Schieferung(!); Mineralbestand: Feldspat (tafelförmig, oft weiß, seltener rosa oder grünlich, gute Spaltbarkeit), Glimmer (blättrig, sehr dunkel (Biotit)) und Quarz (blass grünlich, durchscheinend); >20% Feldspat.

Nicht metamorphes Ausgangsgestein: BASALT

Basalt – dunkel; feinkörnig; manchmal 1-2 mm kleine Kristalle in sehr feinkörniger Matrix (Lupe!); meist relativ schwer;

Diabas – grünlich (durch feinkörnigem Chlorit und Epidot); keine Schieferung; ehemaliges Basaltaussehen mehr oder weniger noch erkennbar;

Grünschiefer – grünlich; Schieferung nicht so deutlich wie bei Tonschiefer oder Glimmerschiefer, aber vorhanden; Mineralbestand: Chlorit, Epidot, Amphibol.

Amphibolit – besteht vor allem aus Amphibolen (Hornblende – dunkle, stengelige Minerale mit guter Spaltbarkeit; Lupe!) und Feldspat (Plagioklas – meist weiße Minerale mit guter Spaltbarkeit); Schieferung nicht so deutlich wie bei Tonschiefer oder Glimmerschiefer, aber vorhanden.
