



GEOLOGIE

220 001 VU

Unterlagen zur Geologieübung
METAMORPHE GESTEINE

WS 2015/16



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.**

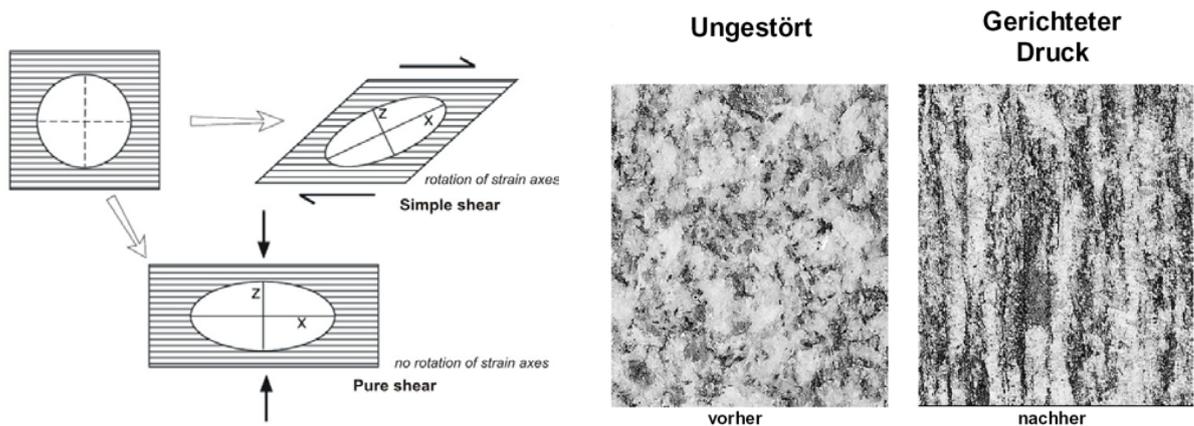
Der geothermische Gradient beschreibt die Temperaturzunahme zum Erdinneren hin. Der durchschnittliche geothermische Gradient beträgt etwa 30 °C/km; dieser Wert kann aber zwischen rund 10 bis 100 °C/km schwanken, wobei die Tiefstwerte in stabilen, alten Kontinentalblöcken und die Höchstwerte in Gebieten 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

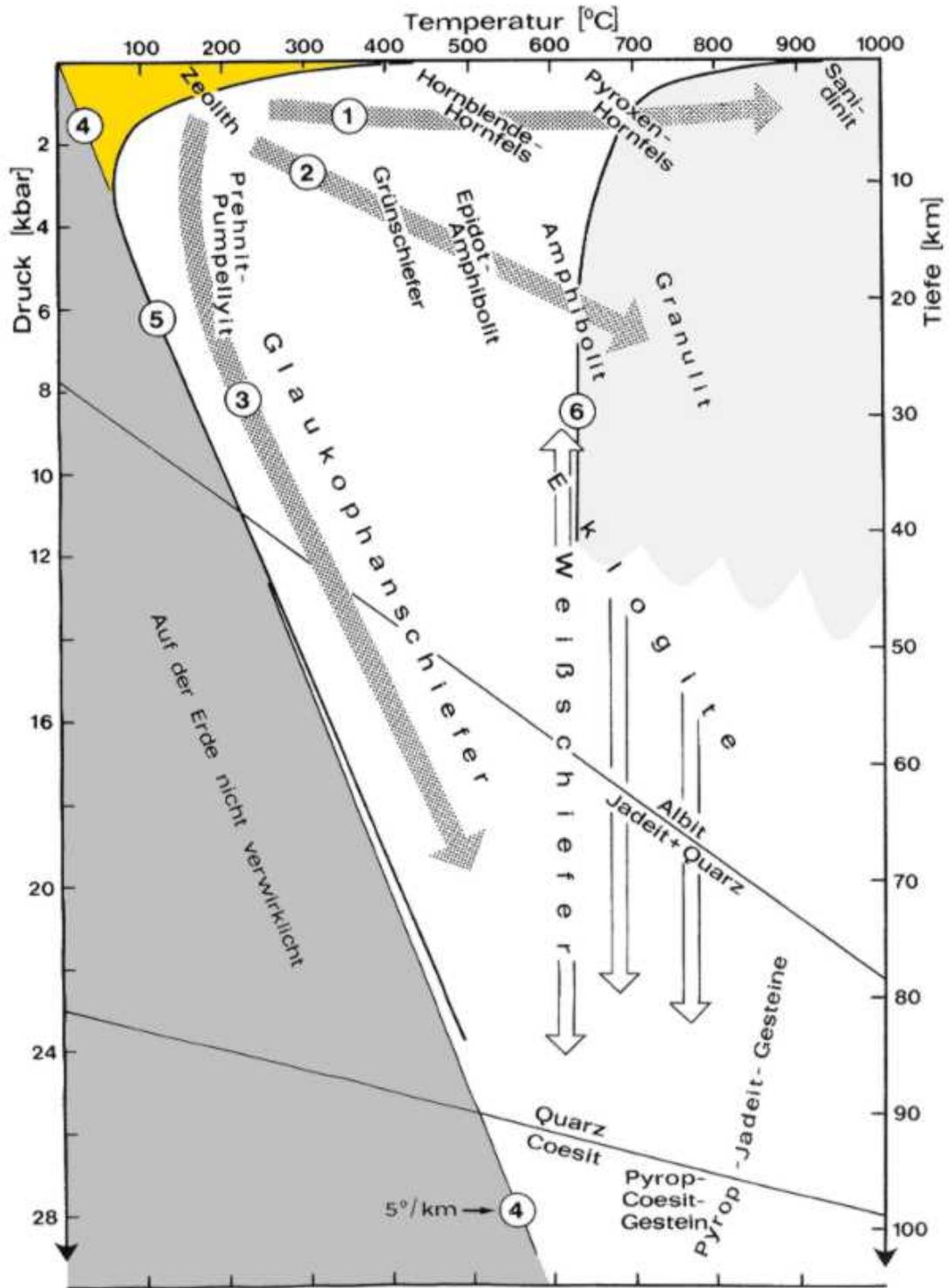
Eine Sonderform der Metamorphose, die durch heftige Stoßwellen hervorgerufen wird und zur Zertrümmerung ganzer Gesteinspartien wie zur Zerstörung von Kristallgittern führen kann. Diese Art der Metamorphose ist auf Meteoritenkrater (und auf die Orte unterirdischer Atombombenversuche) beschränkt. Typische 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	Diagenese	Tonstein*	Mergel	Kalk	Quarz- sandstein	Bitumen Kohle				
	Zeolithfazies	Tonschiefer*	Kalk- Tonschiefer		Dolomit			Diabas		
niedrig	Grünschieferfazies	Phyllit*	Kalkphyllit		Quarzit (oft mit kleinen Glimmern)		Granit		Grünschiefer	
mittel	Epidot-Albitfazies	Glimmer- schiefer* (oft mit Granat)	Kalkglimmer- schiefer Silikatmarmor	Kalkmarmor (oft mit kleinen Glimmern)	Dolomit- marmor (oft mit klein. Glimmern)	Graphit				
hoch	Amphibolitfazies	Paragneis	Para- Amphibolit (z.B. Hornblenden- garbenschiefer)				Orthogneis		Amphibolit	
sehr hoch	Granulitfazies	Granulit								Eklogit

* Tonstein: sehr feinkörnig, Minerale mit Lupe kaum erkennbar (veränderlich fest).
Phyllit: feinkörnig, Minerale mit der Lupe erkennbar, oft verfallt.
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.
