


Dynamische Erde

Übung 9

Metamorphe Gesteine II

16. November 2020

Alex Guthauser
alexg@student.ethz.ch
D-ERDW, ETH Zürich



Übung 9 – Metamorphe Gesteine II

- Ziel der Übung
- Besprechung Hausaufgabe
- Einführung
- Aufgaben
- Namensgebung
- Gesteinsbestimmung
- Hausaufgabe

➤ Ziel der Übung

- Besprechung Hausaufgabe
- Einführung
- Aufgaben
- Namensgebung
- Gesteinsbestimmung
- Hausaufgabe

Ziel der Übung

Ihr könnt:

- die Gefüge und die Mineralogie von metamorphen Gesteinen beschreiben und daraus den Chemismus und die Bildungsbedingungen rekonstruieren

- Ziel der Übung

➤ Besprechung Hausaufgabe

- Einführung
- Aufgaben
- Namensgebung
- Gesteinsbestimmung
- Hausaufgabe

Besprechung Hausaufgabe

Tiefe:	Druck: $P = \rho \cdot g \cdot h$ (lithostatisch)	Temperatur: $T = T_{\text{Grad}} \cdot h$	
		a)	b)
$h_1=10 \text{ km}$	$P_1 = \rho_1 \cdot g \cdot h_1$ $= 2700 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 10000 \text{ m}$ $= 0.27 \text{ GPa} = \mathbf{2.7 \text{ kbar}}$	$T_1 = T_{\text{Grad } 1} \cdot h_1$ $= 15 \text{ }^\circ\text{C/km} \cdot 10 \text{ km}$ $= \mathbf{150 \text{ }^\circ\text{C}}$	$T_1 = T_{\text{Grad } 2} \cdot h_1$ $= 25 \text{ }^\circ\text{C/km} \cdot 10 \text{ km}$ $= \mathbf{250 \text{ }^\circ\text{C}}$
$h_2=20 \text{ km}$	$P_2 = \rho_1 \cdot g \cdot h_2$ $= 2700 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 20000 \text{ m}$ $= 0.54 \text{ GPa} = \mathbf{5.4 \text{ kbar}}$	$T_2 = T_{\text{Grad } 1} \cdot h_2$ $= 15 \text{ }^\circ\text{C/km} \cdot 20 \text{ km}$ $= \mathbf{300 \text{ }^\circ\text{C}}$	$T_2 = T_{\text{Grad } 2} \cdot h_1$ $= 25 \text{ }^\circ\text{C/km} \cdot 20 \text{ km}$ $= \mathbf{500 \text{ }^\circ\text{C}}$
$h_3=30 \text{ km}$	$P_3 = P_2 + \rho_2 \cdot g \cdot h_1 = 0.54 \text{ GPa}$ $+ 3000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 10000 \text{ m}$ $= 0.54 \text{ GPa} + 0.29 \text{ GPa} = 0.83 \text{ GPa}$ $= \mathbf{8.3 \text{ kbar}}$	$T_3 = T_{\text{Grad } 1} + t_2 \cdot h_1$ $= 15 \text{ }^\circ\text{C/km} \cdot 30 \text{ km}$ $= \mathbf{450 \text{ }^\circ\text{C}}$	$T_3 = T_{\text{Grad } 2} \cdot h_1$ $= 25 \text{ }^\circ\text{C/km} \cdot 30 \text{ km}$ $= \mathbf{750 \text{ }^\circ\text{C}}$

Besprechung Hausaufgabe

- Keine ausreichende Fluidzufuhr (Wasser) um Dehydrationsreaktion rückgängig zu machen
 - Schnelle Exhumation → nicht genügend Zeit
 - (Einschlüsse in Mineralpanzern)
- Kinetische Gründe und fehlendes Fluid verhindern häufig retrograde Metamorphose!

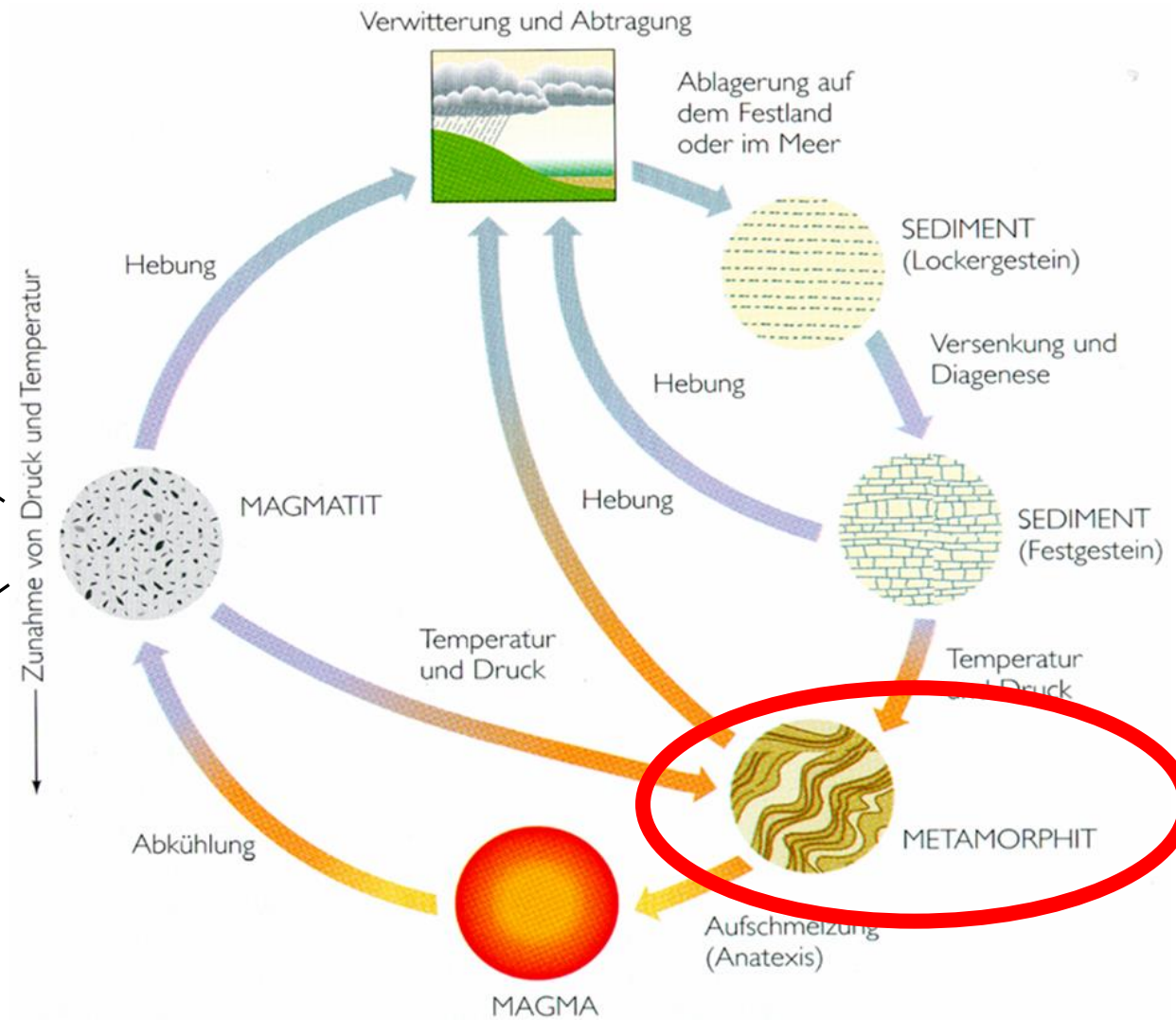
- Ziel der Übung
- Besprechung Hausaufgabe

➤ Einführung

- Aufgaben
- Namensgebung
- Gesteinsbestimmung
- Hausaufgabe

Vulkanit

Plutonit

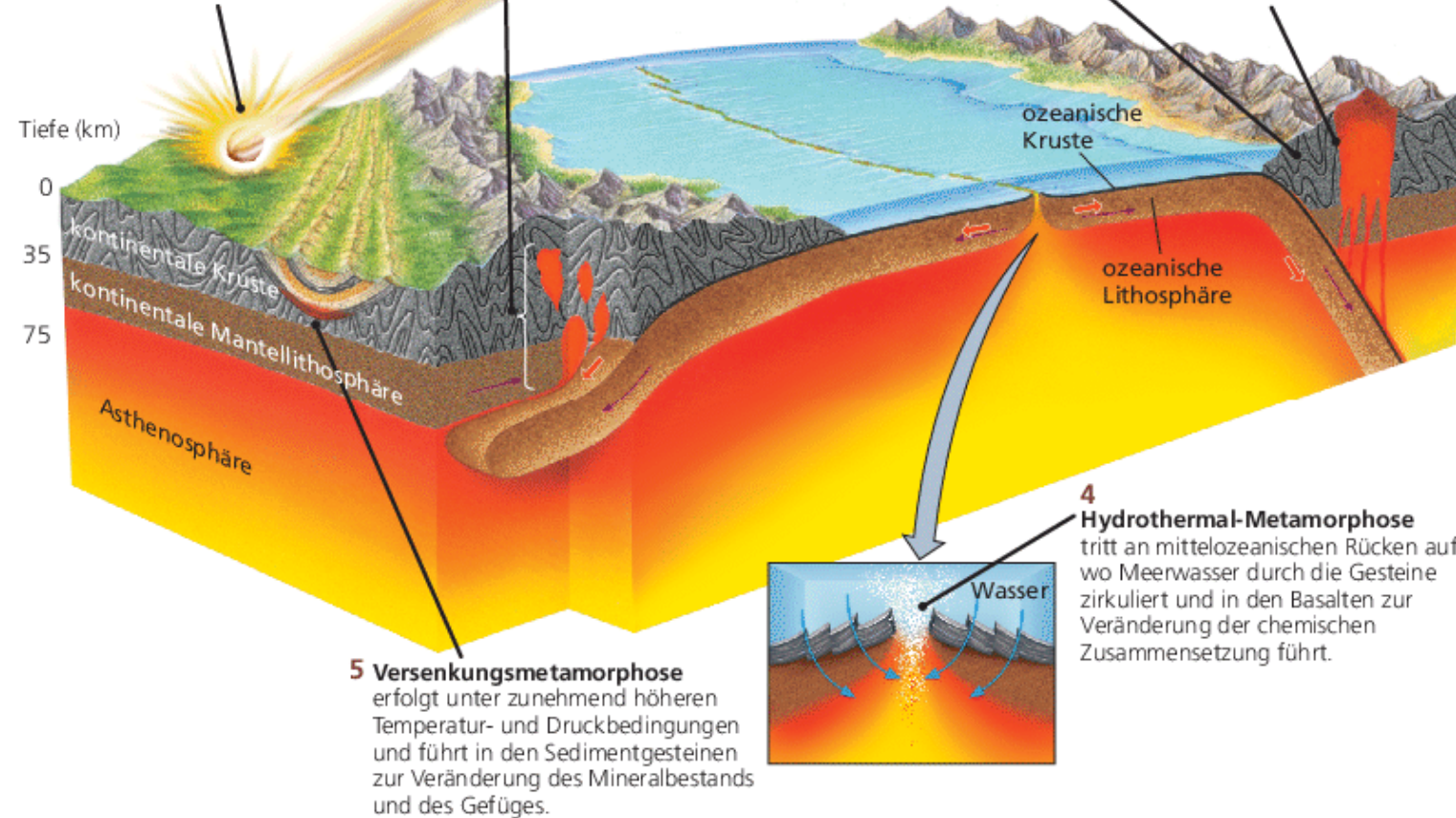


1 Regionalmetamorphose
an konvergenten Plattengrenzen erfolgt in mittleren bis großen Tiefen unter mittlerem bis ultrahohem Druck und hohen Temperaturen.

2 Hochdruckmetamorphose
ist überwiegend an Subduktionszonen gebunden, wo Gesteinsmaterial zunehmend höheren Drücken ausgesetzt wird.

6 Schock- oder Impaktmetamorphose
erfolgt abrupt durch Wärme und Stoßwellen beim Aufschlag von Meteoriten und ist auf die unmittelbare Umgebung der Einschlagstelle beschränkt.

3 Kontaktmetamorphose
beeinflusst lediglich einen eng begrenzten Bereich des Nebengesteins unmittelbar an der Kontaktzone zum Magma.



Metamorphe Fazies?

Mineralparagenese charakteristisch für einen limitierten P-T-Bereich.

→ Historisch an Hand der Metabasika (Basalt/ Gabbro) definiert

Isograde & Indexmineral

Erstmaliges Auftreten eines Indexminerals für einen charakteristischen P-T-Bereich definiert eine Isograde

→ Isograden können kartiert werden

- Ziel der Übung
- Besprechung Hausaufgabe
- Einführung

➤ Aufgaben

- Namensgebung
- Gesteinsbestimmung
- Hausaufgabe

Aufgabe 1:

Welche Faktoren bestimmen das Auftreten von Mineralen (Mineralbestand) in einem metamorphen Gestein?

- jedes Mineral hat einen bestimmten Stabilitätsbereich (abhängig von Chemismus, P-T-Bedingungen)
- Mineralbestand ist Funktion des Chemismus und des Metamorphosegrades (P, T)

Aufgabe 1:

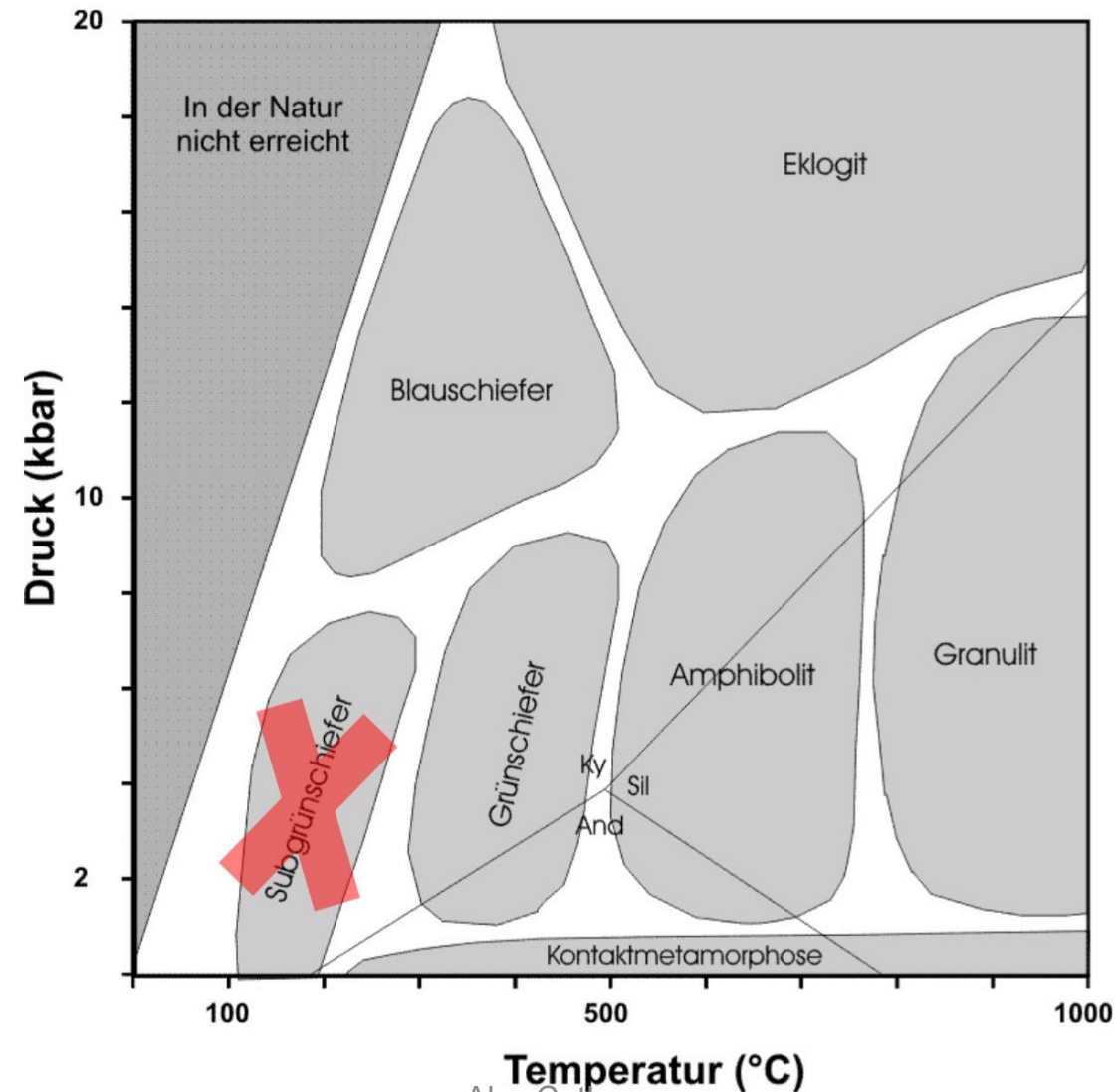
Was versteht man unter einer Mineralparagenese?

→ Vergesellschaftung (gemeinsames Auftreten) von Mineralien in einem Gestein

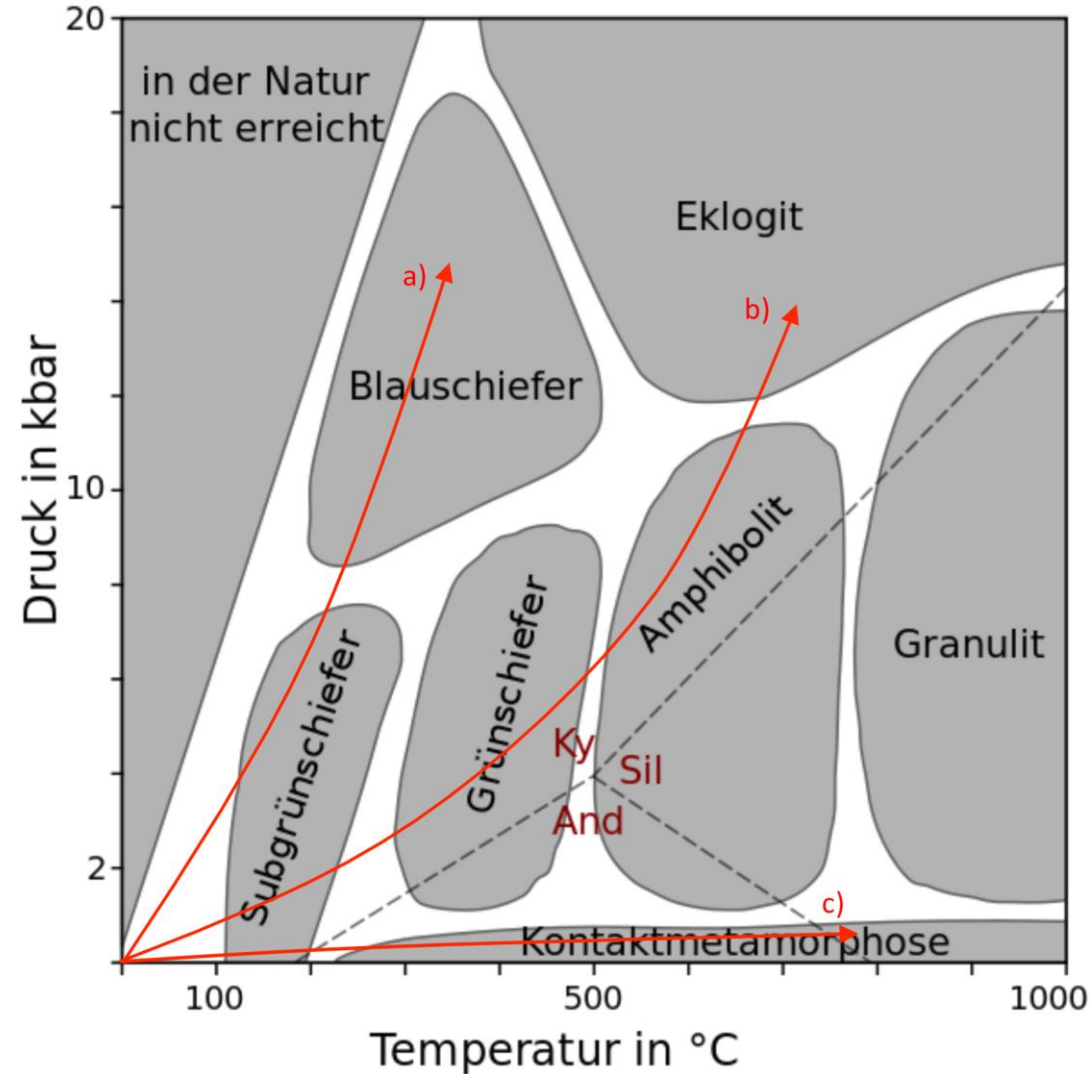
Aufgabe 2: Ausgangsgestein (Protolith), Chemismus

Gesteine	Ursprungsgesteine (Protolith)	Wichtigste Elemente (Oxide)	Typische Mineralien
Metgranitoide	Granit, Rhyolith und andere saure Magmatite, Arkose-Sandsteine	SiO₂ , Al ₂ O ₃ , Na ₂ O, K ₂ O	Quarz, Feldspäte, Glimmer (untergeordnet)
Metaultrabasika	Peridotit (Mantelgestein)	MgO , (FeO, Al ₂ O ₃ , CaO) SiO ₂ -arm	Serpentin, Olivin, Talk, Granat (Pyrop), Enstatit, Chlorit
Metabasika	Gabbro, Basalt	Al ₂ O ₃ , FeO, MgO, CaO, SiO ₂	Aktinolith, Hornblende, Glaukophan (Amphibole), Granat (Pyrop), Epidot, Chlorit
Metakarbonate	Kalk, Dolomit, Kalk-Mergel	CO₂ , CaO , MgO, (SiO ₂ , Al ₂ O ₃)	Calcit, Tremolit, Granat (Grossular), Diopsid, Wollastonit, Tremolit
Metapelite	Tonsteine	Al₂O₃ , SiO₂ , FeO , K ₂ O, Na ₂ O	Alumosilikate, Glimmer, Granat (Almandin), Staurolith

Aufgabe 3: Metamorphose



Aufgabe 3: Metamorphose



- a.) Subduktion
- b.) Orogenese
- c.) Kontaktmetamorphose

Aufgabe 5: Zusammenhänge

METAMORPHOSE:

tief

mittel

hoch

sehr hoch

WASSERGEHALT:



MINERALBESTAND:

Schichtsilikate



Amphibole



Granate

(nur wasserfreie Mineralien)

GEFÜGE:


Phyllit

Schiefer

Gneis

Fels



- 
- Ziel der Übung
 - Besprechung Hausaufgabe
 - Einführung
 - Aufgaben

➤ Namensgebung

- Gesteinsbestimmung
- Hausaufgabe

Namensgebung


Minerale-Gefüge, Protolith + Fazies



Bsp: Granat-Staurolith-2-Glimmer-Schiefer, Metapelit in
Amphibolit Fazies

Wichtig: Quarz und Felspäte werden nicht im Namen erwähnt!

Viele Gesteine haben Spezialnamen!

- 
- Ziel der Übung
 - Besprechung Hausaufgabe
 - Einführung
 - Aufgaben
 - Namensgebung

➤ Gesteinsbestimmung

- Hausaufgabe

	Metagranitoide (Quarz = Durchläufer)	Meta-Ultrabasika	Metabasika	Metakarbonate (Calcit = Durchläufer)	Metapelite (Quarz = Durchläufer)
Protolith	Granit, Rhyolith und andere saure Magmatite, Arkose-Sandsteine	Peridotit (Mantelgestein)	Gabbro, Basalt	Kalk, Dolomit, Kalk-Mergel	Tonsteine
Wichtige Mineralien (es gibt viele davon)	Quarz, Feldspat	Serpentin, Olivin, Talk, Granat (Pyrop), Enstatit, Chlorit	Aktinolith, Hornblende, Glaukophan (Amphibole), Granat (Pyrop), Epidot, Chlorit	Calcit, Tremolit, Granat (Grossular), Diopsid, Wollastonit, Tremolit	Alumosilikate, Glimmer, Granat (Almandin), Staurolith
Chemismus	Si-reich	Si-arm Mg-reich	Fe-, Mg-, Al-, Ca-reich	Mg-, Ca-reich	Al, Fe, Si-reich

Wichtige metamorphe Mineralien in Beziehung zu den Metamorphen Fazies.
 Unterstrichene Mineralien sind Fazieskriterisch

	Metagranitoide (Quarz = Durchläufer)	Meta-Ultrabasika	Metabasika	Metakarbonate (Calcit = Durchläufer)	Metapelite (Quarz = Durchläufer)
Grünschiefer-Fazies	Albit Chlorit Epidot ± Biotit	<u>Serpentin</u> Chlorit Brucit ± Olivin	Albit Chlorit <u>Aktinolith</u> <u>Epidot</u>	Dolomit ± Quarz <u>Talk</u> Muskovit <u>Phlogopit</u> ± Tremolit, Albit	<u>Chloritoid</u> <u>Biotit</u> + Muskovit Chlorit Granat
Amphibolit-Fazies	Plagioklas <u>Kalifeldspat</u> Muskovit Biotit	Serpentin <u>Olivin</u> Talk <u>Tremolit</u> Chlorit	<u>Plagioklas</u> <u>Hornblende</u> Granat	Dolomit <u>Tremolit</u> <u>Diopsid</u> Olivin Plagioklas	Biotit + Muskovit Granat <u>Staurolith</u> <u>Kyanit</u> ± Sillimanit
Granulit-Fazies	Plagioklas Kalifeldspat <u>Sillimanit</u> Pyroxene ± Granat	Olivin <u>Enstatit</u> <u>Mg-Al-Spinell</u> Diopsid	Plagioklas <u>Pyroxene</u> <u>Granat</u>	<u>Kalifeldspat</u> Diopsid Olivin Plagioklas	<u>Sillimanit</u> <u>Kalifeldspat</u> Keine Glimmer!
Blauschiefer-Fazies (Glaukophan- Lawsonite-Schiefer- Fazies)	Jadeit Pyroxen	<u>Serpentin</u>	<u>Glaukophan</u> <u>Lawsonit/Epidot</u> Aragonit Jadeit	Dolomit Quarz Ev. Aragonit Tremolit	Muskovit Chlorit
Eklogit-Fazies	Jadeit ± Granat	Olivin Enstatit Spinell <u>Granat (Pyrop)</u>	<u>Omphazit</u> (Na-Ca Pyroxen) <u>Granat (Pyrop)</u>		Granat Kyanit Plagioklas

Wichtige metamorphe Mineralien in Beziehung zu den Metamorphen Fazies.
Unterstrichene Mineralien sind Fazieskriterisch

Spezialnamen	Metagranitoide (Quarz = Durchläufer)	Meta-Ultrabasika	Metabasika	Metakarbonate (Calcit = Durchläufer)	Metapelite (Quarz = Durchläufer)
Grünschiefer-Fazies	Albit Chlorit Epidot ± Biotit	<u>Serpentin</u> Chlorit Brucit ± Olivin	Albit Chlorit <u>Aktinolith</u> <u>Epidot</u>	Dolomit ± Quarz <u>Talk</u> Muskovit <u>Phlogopit</u> ± Tremolit, Albit	<u>Chloritoid</u> <u>Biotit</u> + Muskovit Chlorit Granat
Amphibolit-Fazies	Plagioklas <u>Kalifeldspat</u> Muskovit Biotit	Serpentin <u>Olivin</u> Talk <u>Tremolit</u> Chlorit	<u>Plagioklas</u> <u>Hornblende</u> Granat	Dolomit <u>Tremolit</u> <u>Diopsid</u> Olivin Plagioklas	Biotit + Muskovit Granat <u>Staurolith</u> <u>Kyanit</u> ± Sillimanit
Granulit-Fazies	Plagioklas Kalifeldspat <u>Sillimanit</u> Pyroxene ± Granat	Olivin <u>Enstatit</u> <u>Mg-Al-Spinell</u> Diopsid	Plagioklas <u>Pyroxene</u> <u>Granat</u>	<u>Kalifeldspat</u> Diopsid Olivin Plagioklas	<u>Sillimanit</u> <u>Kalifeldspat</u> Keine Glimmer!
Blauschiefer-Fazies (Glaukophan- Lawsonite-Schiefer- Fazies)	Jadeit Pyroxen	<u>Serpentin</u>	<u>Glaukophan</u> <u>Lawsonit/Epidot</u> Aragonit Jadeit	Dolomit Quarz Ev. Aragonit Tremolit	Muskovit Chlorit
Eklogit-Fazies	Jadeit ± Granat	Olivin Enstatit Spinell <u>Granat (Pyrop)</u>	<u>Omphazit</u> (Na-Ca Pyroxen) <u>Granat (Pyrop)</u>		Granat Kyanit Plagioklas

	Metagranitoide (Quarz = Durchläufer)	Meta-Ultrabasika	Metabasika	Metakarbonate (Calcit = Durchläufer)	Metapelite (Quarz = Durchläufer)
Grünschiefer-Fazies	Albit Chlorit Epidot ± Biotit	<u>Serpentin</u> Chlorit Brucit ± Olivin	Albit Chlorit <u>Aktinolith</u> <u>Epidot</u>	Dolomit ± Quarz <u>Talk</u> Muskovit <u>Phlogopit</u> ± Tremolit, Albit	<u>Chloritoid</u> <u>Biotit</u> + Muskovit Chlorit Granat häufig
Amphibolit-Fazies	Plagioklas <u>Kalifeldspat</u> Muskovit Biotit häufig	Serpentin <u>Olivin</u> Talk <u>Tremolit</u> Chlorit	<u>Plagioklas</u> <u>Hornblende</u> Granat	Dolomit <u>Tremolit</u> <u>Diopsid</u> Olivin Plagioklas	Biotit + Muskovit Granat <u>Staurolith</u> <u>Kyanit</u> ± Sillimanit häufig
Granulit-Fazies	Plagioklas Kalifeldspat <u>Sillimanit</u> Pyroxene ± Granat unwahrscheinlich	<u>Olivin</u> <u>Enstatit</u> <u>Mg-Al-Spinell</u> Diopsid	Plagioklas <u>Pyroxene</u> <u>Granat</u>	<u>Kalifeldspat</u> Diopsid Olivin Plagioklas	<u>Sillimanit</u> <u>Kalifeldspat</u> Keine Glimmer!
Blauschiefer-Fazies (Glaukophan- Lawsonite-Schiefer- Fazies)	Jadeit Pyroxen sehr unwahrscheinlich!	<u>Serpentin</u>	<u>Glaukophan</u> <u>Lawsonit/Epidot</u> Aragonit Jadeit	Dolomit Quarz Ev. Aragonit Tremolit sehr unwahrscheinlich!	Muskovit Chlorit
Eklogit-Fazies	Jadeit ± Granat sehr unwahrscheinlich!	Olivin Enstatit Spinell <u>Granat (Pyrop)</u>	<u>Omphazit</u> (Na-Ca Pyroxen) <u>Granat (Pyrop)</u>		Granat Kyanit Plagioklas unwahrscheinlich

Vereinfachungen für Basisprüfung

Glimmer: Muskovit (keine Unterscheidung Sericit etc.)
Biotit/Phlogopit

Pyroxene: keine Unterscheidung Clinopyroxene und
Orthopyroxene

folglich: Diopside (grüngrau), Jadeit (grün), Augit (schwarz),
Omphazit (grün) Bronzit/Enstatite (grünbraun)
→ **PYROXEN**

Feldspäte: nur Unterscheidung Plagioklas und Alkalifeldspat
(ohne Orthoklas, Albit, Anorthit)

- Ziel der Übung
- Besprechung Hausaufgabe
- Einführung
- Aufgaben
- Namensgebung
- Gesteinsbestimmung

➤ Hausaufgabe

Hausaufgabe

Kartieren der Metamorphose

Hinweis: nicht zu viel Zeit bei Aufgabe 2 verbignen!

Übung

- Ende Lektion Abgabe einer Gesteinsbestimmung
- Gesteinsnummer notieren!
- Gibt wertvolles Feedback ;)
- Zuerst beobachten, dann interpretieren!
- Eine klare Struktur hilft euch und dem der korrigiert.
- Aufpassen, ob ihr Minerale oder das Gesamtgestein beschreibt.
- “Kapitel“ können helfen: 1. Mineralbestand (erst beschreiben, dann benennen), 2. Gefüge, 3. Namensgebung, 4. Interpretation der Entstehung