

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Magmatische Gesteine
(Magmatite)



Vulkanite

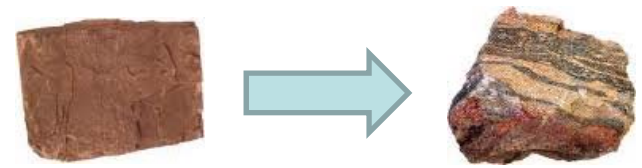
Schnelle
Abkühlung

Plutonite

Langsame
Abkühlung

Metamorphe Gesteine
(Metamorphite)

Entstehen durch
Umwandlung aus
anderen Gesteinen



Sedimentgesteine
(Sedimente)

z.B. Kalkstein, Tonstein, Sandstein

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

► Metamorphose – was ist das?

Griech.: metamorphosis – Umwandlung, Gestaltwechsel

- Mineralogisch/strukturelle Anpassung an veränderte physikalische und chemische Bedingungen
- Gesteinsumwandlung
- Wichtig: Fluide Phasen als chemisches Transportmittel

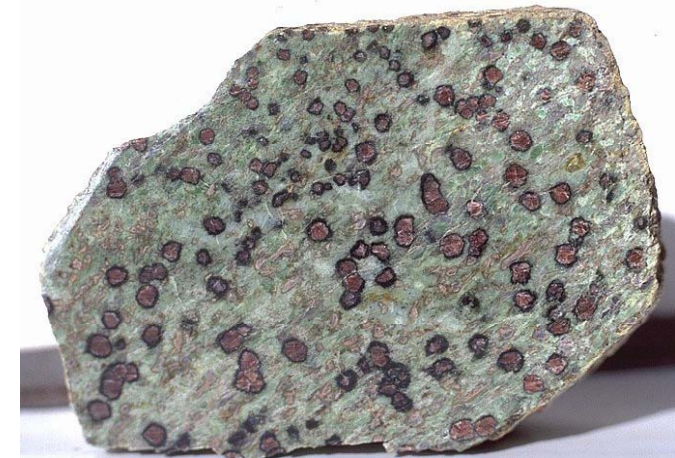
► Grund:

- Minerale sind nur unter **bestimmten Druck- und Temperatur-Bedingungen** stabil. Ändern sich diese, verändern die Minerale ihre **Gitterstruktur**, jedoch nicht zwingend ihre chemische Zusammensetzung
- „isochemische Umwandlung“

Muscovit-Schiefer



Granat-Eklogit



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

► Auswirkungen:

- (1) **Texturelle Veränderung** der Gesteine
- auch: *Gefügeänderung*;
Bildung einer *Schieferung*, *engl.:* foliation,
Mineralwachstum, Rekristallisation
(mit zunehmender Temperatur)
- (2) **Mineralreaktionen** führen zur Umwandlung und
auch Neubildung von Mineralen, entscheidend:
Fluide Phasen

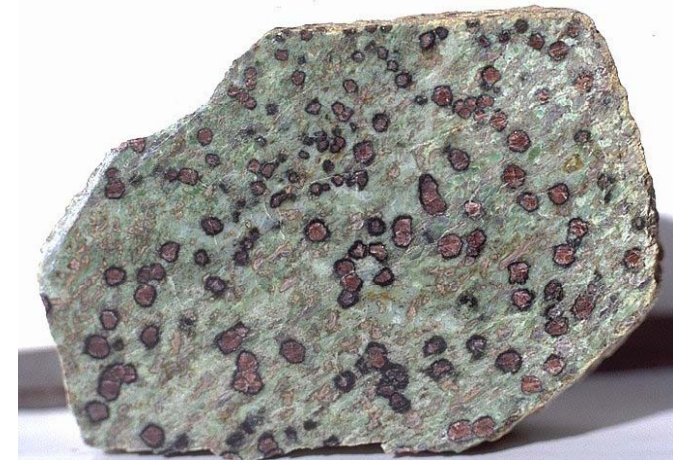
Schieferung

- Gestein mit lagiger Textur
- Bevorzugte Ausrichtung von Mineralen
- Schiefer, Gneis

Zunehmender Metamorphosegrad

- Gestein wird **grobkristallin**

Granat-Eklogit



Muscovit-Schiefer



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

► Ausgangsmaterial:

Magmatisches & sedimentäres Gestein,
oder ein Metamorphit (Polymetamorphose)

Wichtig:

Unterschiedlich metamorphe
Bedingungen

- Gleiches Ausgangsgestein
- unterschiedliche metamorphe
Gesteine

→ abhängig von:
Druck und Temperatur
Englisch:

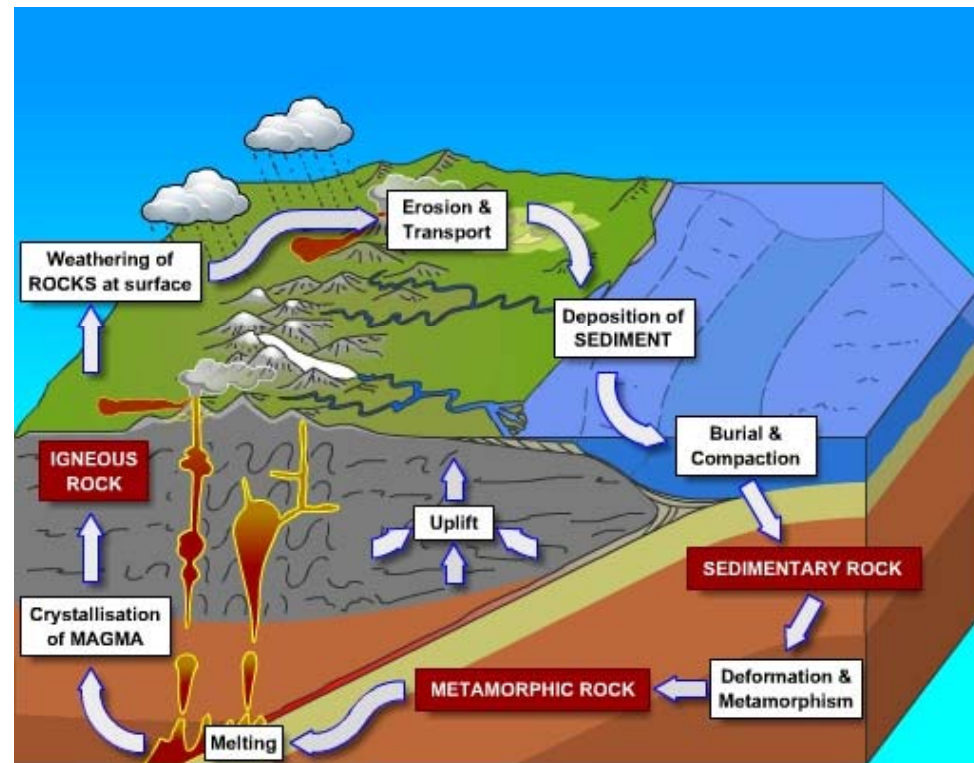
Pressure, temperature

→ z.B. **HP/LT Metamorphose**

→ high pressure / low
Temperature Metamorphose

Und:

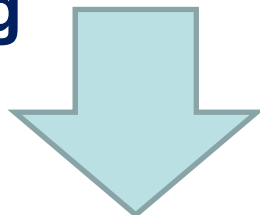
→ Chemische Zusammensetzung
der Fluiden Phasen



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

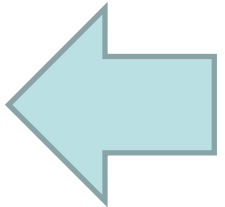
► Gesteinsumwandlung

Druck / compression

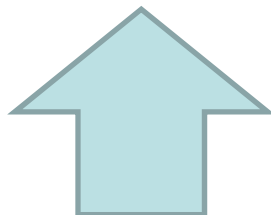


Conglomerate cobbles that have been flattened (left) compared to an unstrained conglomerate (below).

Dehnung / tension



Ausgangsgestein: Konglomerat →



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

► Ursache / limitierende Faktoren

! Prozesse innerhalb der Erdkruste !

→ Geodynamische Prozesse:

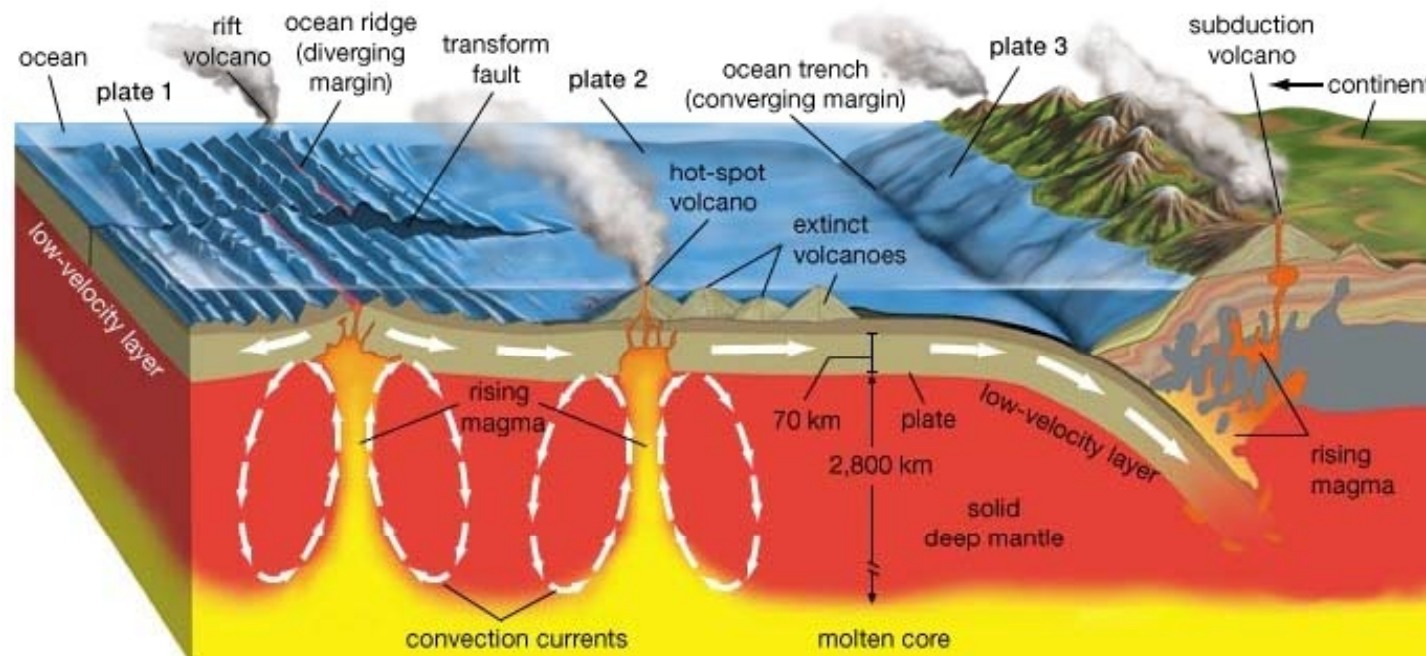
Subduktion, Gebirgsbildung, Erosion - („geodynamisches setting“)

Limits:

Temperaturen: ca. 100 bis ca. 900 °C - unter trockenen Bedingungen bis

1100 °C: Gesteine der Granulitfazies: **UHT**-Metamorphose -

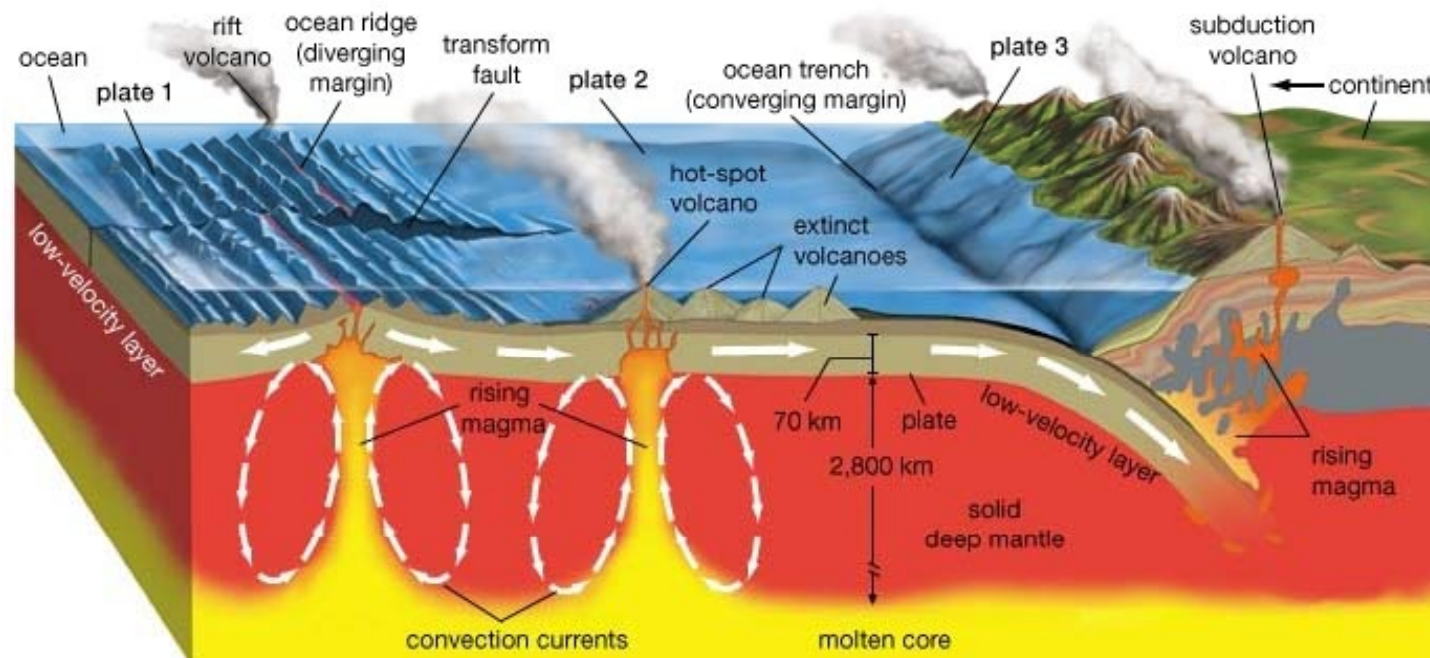
Ultra-high-temperature



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

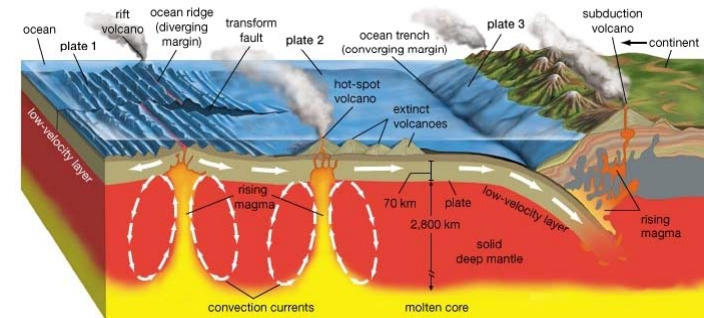
► Metamorphe Bedingungen - Zusammenfassung

- **Temperaturen:** 200 °C bis 900°C (1100°C)
- **Tiefe / Drücke:** 2km bis über 100 km - bis 28kbar
- **Fluide Phase:** beschleunigt chemische Reaktionen
- **Hitze:** Kontakt zu Intrusionskörper, radioaktiver Zerfall von Uran und Kalium
- **Druck:** Auflast bzw. Überlagerungsdruck – Wasser oder Gestein
 - 1 kbar = 3 km Tiefe



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Faziestypen: Nach „geodynamischem Setting“



1. Regionalmetamorphose

In **Gebirgsketten**, also in tektonisch aktiven (kompressiven) Regionen.

→ Subduktionszone – Krustenverdickung

→ Glimmerschiefer, Gneis – partielle Aufschmelzung: Anatexis

2. Kontaktmetamorphose

Am **Kontaktbereich** von **Intrusionen** werden die Nebengesteine infolge der Aufheizung in **Kontaktmetamorphite** umgewandelt - Hornfels

3. Hochdruckmetamorphose – HP / LT

Typisch innerhalb von **Subduktionszonen** mit anormal niedrigem **geothermischem Gradienten** (6-10°C/km). Hoher Druck, relativ niedrige Temperatur.

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

4. Ozeanbodenmetamorphose

Starkes Relief an **mittelozeanischen Rücken**,
verbunden mit Abkühlung und „Rifting“, erzeugt tiefe **Spaltensysteme**,
an denen Meerwasser bis in den **oberen Erdmantel** gelangt.

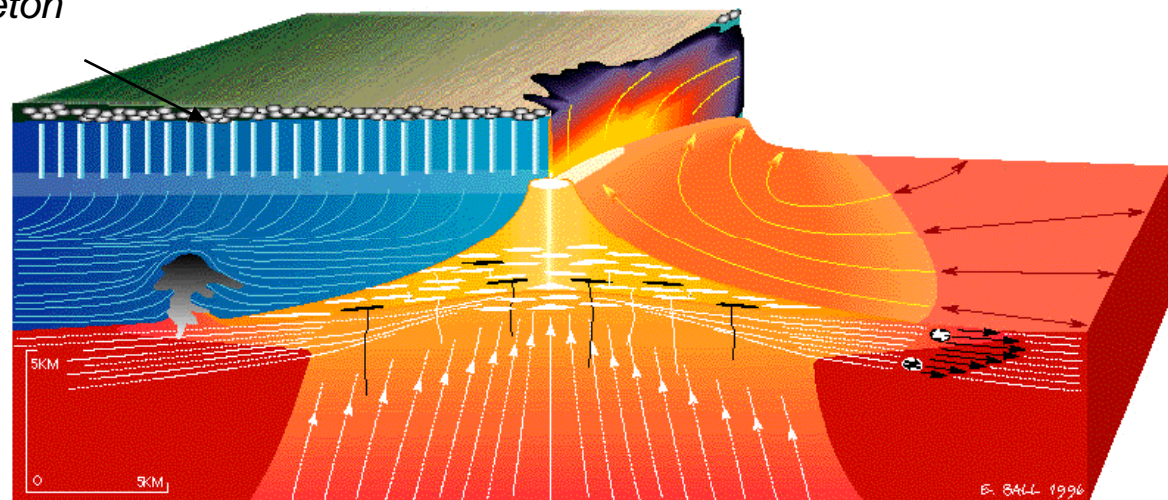
Dadurch werden im heißen (und bis dahin trockenen!) Gestein
(*Peridotit!!*) chemische Reaktionen induziert. → **Hydrothermale Alteration**

Tiefsee-Sedimente: Cherts, Tiefseeton

Kruste: Basalt

Kruste: Gabbros

Mantel: Peridotite



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

► Typische Gesteine I

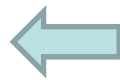


Glimmerschiefer



Gneis

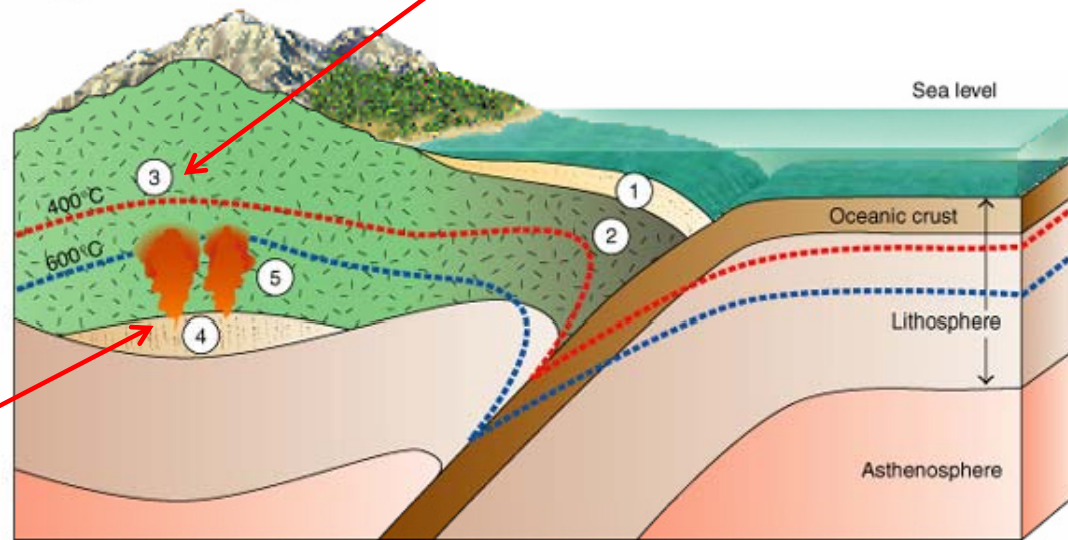
Regionalmetamorphose / Barrovian metamorphism



Hornfels



Kontaktmetamorphose



Subduktionszone

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

► Typische Gesteine II

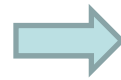
Blauschiefer



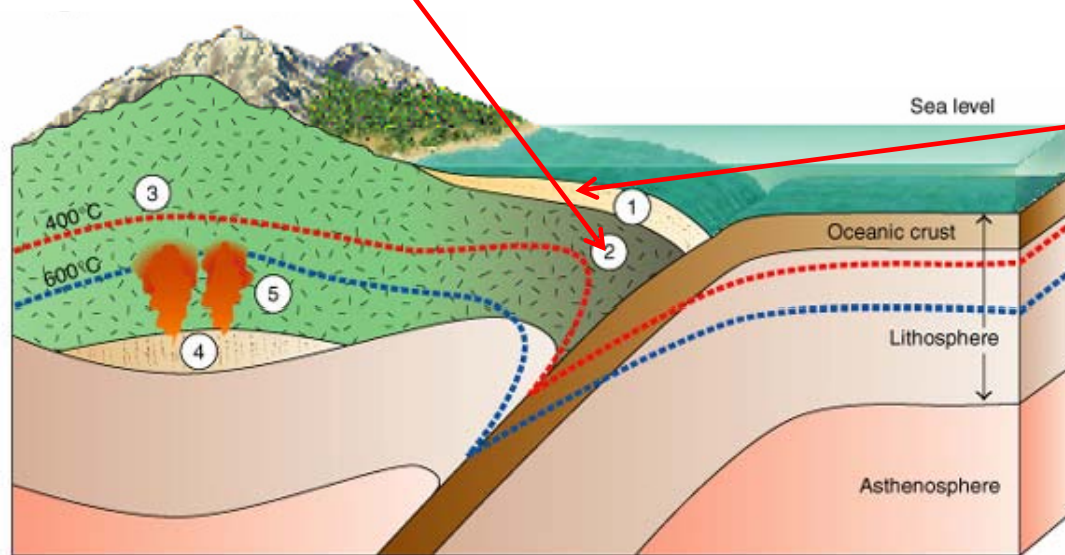
Eklogit



Hochdruckmetamorphose



Ozeanbodenmetamorphose



Subduktionszone

Serpentin



Amphibolit



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Faziestypen der Regionalmetamorphose

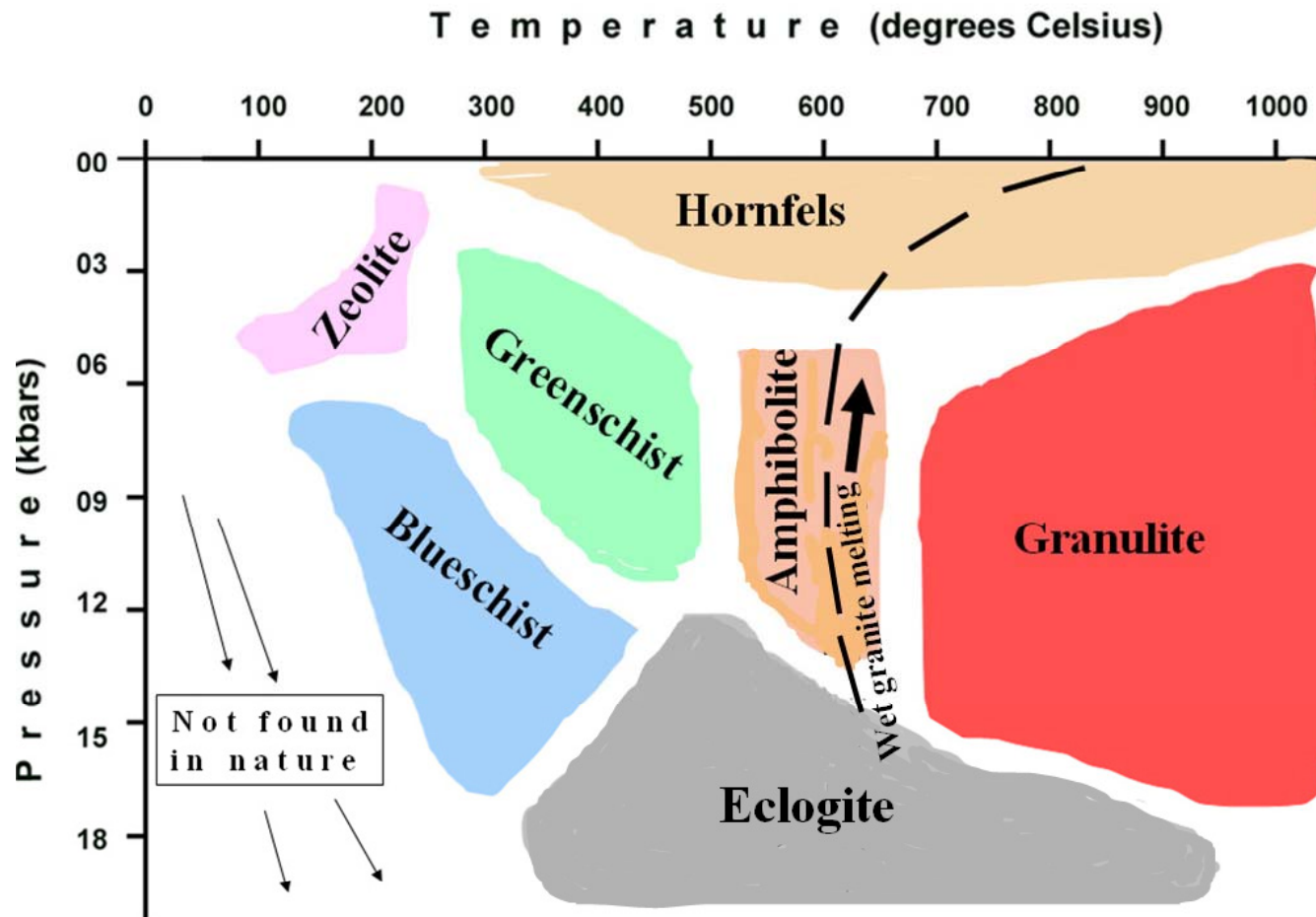


Diagramm bestimmter **Druck-Temperatur-Bedingungen**, unter denen sich bestimmte **metamorphe Fazies** entwickeln.

Innerhalb jeder Fazies bildet ein bestimmtes Gestein (z.B. Basalt) eine vorhersehbare Abfolge an Mineralen.

Metamorphe Faziestypen

Zeolithfazies:	Diagenesebereich (bis max. 250°C)
Grünschieferfazies (Epizone):	Schwachgradige M. (200-400°C)
Amphibolitfazies (Mesozone):	Mittelgradige M. (400-600°C)
Granulitfazies (Katazone):	Hochgradige, temperaturbetonte M.
Eklogitfazies:	Hochgradige, druckbetonte M.
Blauschieferfazies:	Druckbetonte Metamorphose
Hornfelsfazies:	Temperaturbetonte Metamorphose

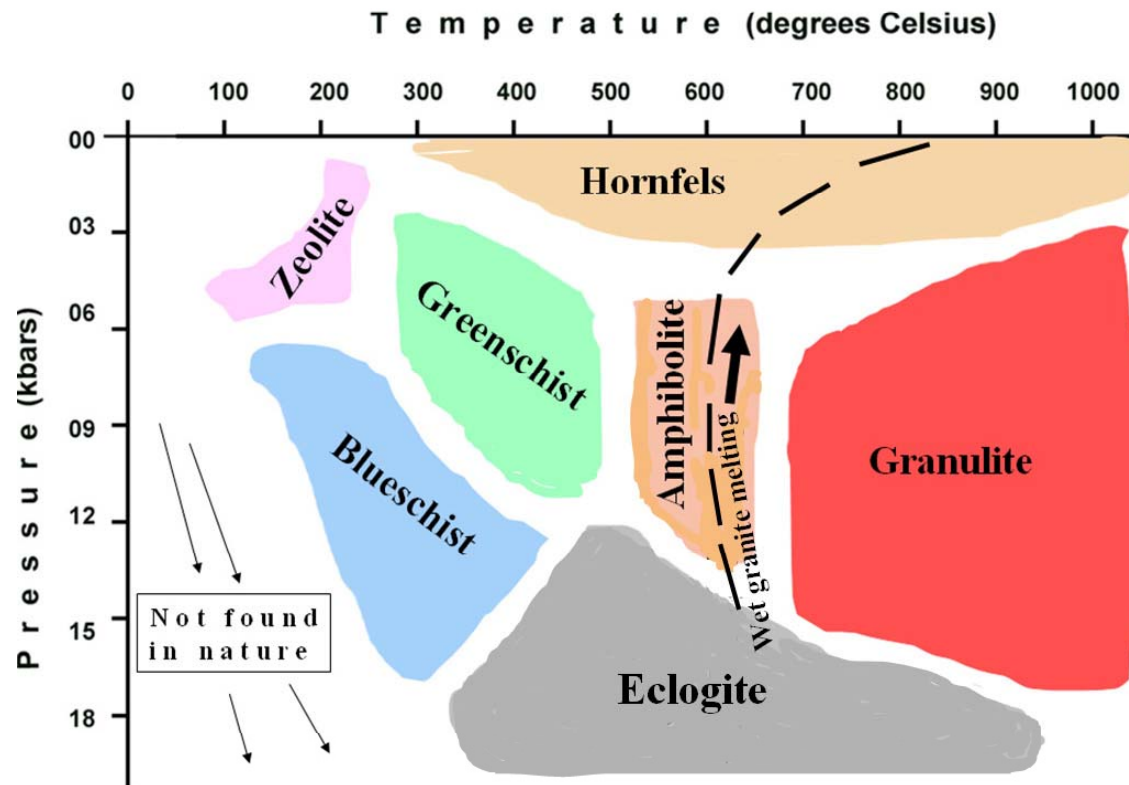
Welcher metamorphe Faziesbereich vorliegt, hängt vom jeweiligen „geodynamischen Setting“ ab!

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Übung:

Unterscheidung und Einordnung metamorpher Gesteine:

1. Die Gesteine der **Regionalmetamorphose**



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Diese Woche:

- 1. Die wichtigsten metamorphen Minerale**
- 2. Die Gesteine der Hochdruckmetamorphose**
- 3. Die Gesteine der Kontaktmetamorphose**
- 4. Die Gesteine der Ozeanbodenmetamorphose**

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Minerale

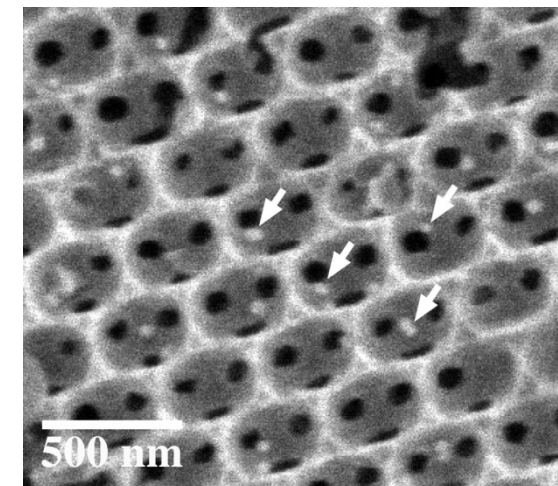
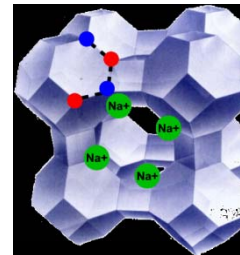
Neben **Glimmern** und **Amphibolen** spielen in metamorphen Gesteinen die folgenden Minerale eine wichtige Rolle:

► **Zeolithe (Gerüstsilikate)**

Sehr poröse Struktur, eingelagerte Wassermoleküle („Zeolithwasser“) und Kationen (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Ba^{2+}). Sind **Kationenaustauscher**. Zeolithwasser wird reversibel abgegeben.

Entstehen aus Alumosilikaten bei der **Diagenese** bzw. bei **niedriggradiger Metamorphose**.

→ Hydratisierte Alumosilikate !
Man unterscheidet makroskopisch:
Faserzeolithe, Blätterzeolithe, Würfelzeolithe.



Bildung: Hydrothermale Alteration

Metamorphe Minerale

Einige Zeolithe:

Natrolith $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

Stilbit $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

Phillipsit $\text{KCa}[\text{Al}_3\text{Si}_5\text{O}_{16}] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

Chabasit $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$



Natrolith



Chabasit



Phillipsit

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Minerale

Bildung: Amphibolitfazies: Disthen, Sillimanit
Hornfelsfazies: Andalusit

► Al_2SiO_5 – Gruppe (Inselsilikate)

Disthen (triklin) - **Andalusit** (rhombisch) - **Sillimanit** (rhombisch)

Idiomorphe (trimorphe) Gruppe



Disthen
engl.: Kyanite



Andalusit
Varietät Chiasmolith



Sillimanit, engl.: Fibrolite



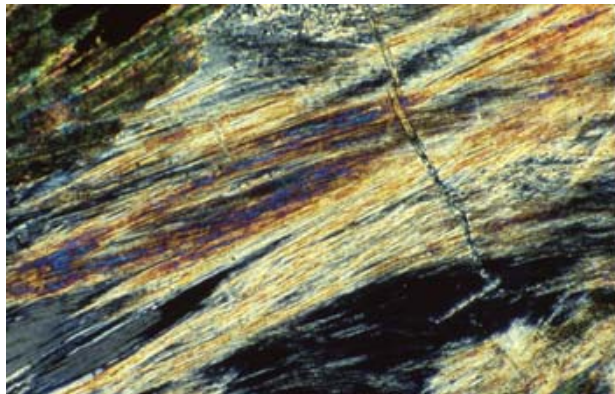
Stern-Sillimanit, "Katzenaugen"

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

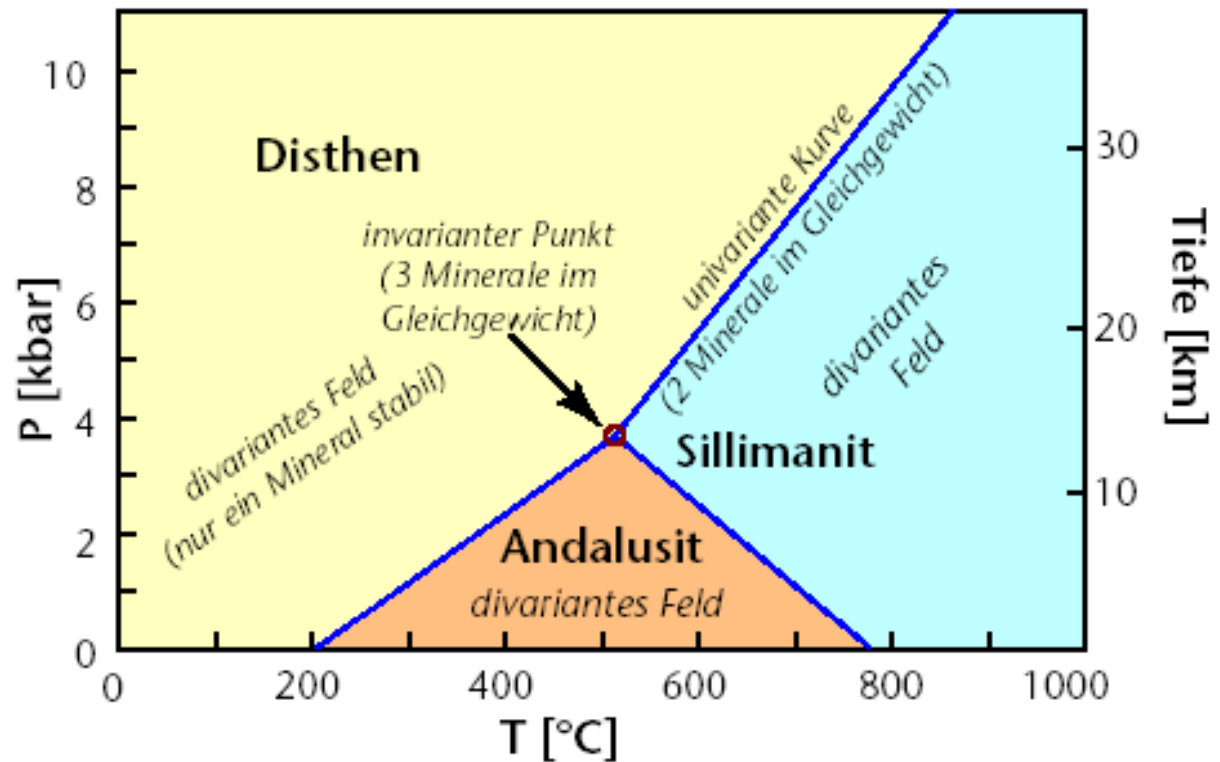
► Disthen, Andalusit, Sillimanit

Sind typische **Indexminerale**, die den Grad der Metamorphose bzw. den **Metamorphosetyp** anzeigen - - **welche Modifikation stabil ist, hängt von den pT-Bedingungen ab**

(**Disthen** ist typisch für die druckbetonte Metamorphose, **Andalusit** ist typisch für die temperaturbetonte Metamorphose).



Sillimanit-Nadeln im Dünnschliff



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Minerale

► Granat – Gruppe (Inselsilikate)

Wichtige Vertreter dieser **kubischen** Mineralgruppe sind:

Pyrop: $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

tiefrot

Almandin: $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

rotbraun -
braun



Almandin
 $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

Pyrop und Almandin bilden eine **vollständige Mischkristallreihe**, (Mg und Fe können teilweise durch Mn ersetzt werden).



Pyrop
 $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

Bildung:
Eklogitfazies

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Grossular: $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

Andradit: $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$

Bildung:
Eklogitfazies

Auch hier vollständige Mischkristallbildung.

Granate besitzen eine **sehr dichte** Gitterstruktur (Dichte zwischen 3,5 - 4,5 g/cm³), weshalb sie nur bei hohen Drücken gebildet werden.

Sind **typisch** für metamorphe Gesteine und kommen ausschließlich in solchen vor.

Grossular
 $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$



Andradit
 $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Grossular in Skarn

Skarn: metamorphes Gestein, bildet sich bei Metamorphose aus Kalkstein in Kontakt zu einer Intrusion

Grossular
 $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$



Calcit

Intrusion von Quarz-Diorit, Chichibu Mine, Japan

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Minerale

► Staurolith (Inselsilikat)



Wasserhaltiges Al-reiches

Inselsilikat

Bildet häufig sog.

Durchkreuzungszwillinge,

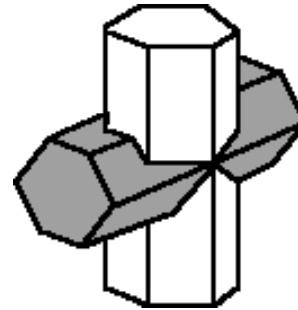
mit einem Kreuzungswinkel

von $\sim 60^\circ$ oder $\sim 90^\circ$.

Häufig zusammen mit

Almandin und *Biotit*.

Bildung: Amphibolitfazies,
Granulitfazies,
Blauschieferfazies



Staurolith – Muscovit - Schiefer

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Minerale

► Epidot (Gruppensilikat: $[\text{Si}_2\text{O}_7]$)

Ca-Al-Fe-Gruppensilikat. Zur Epidotgruppe gehört auch **Klinozoisit**, der weitgehend Fe-frei ist



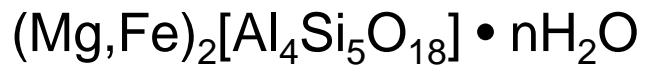
Massiver Epidot an tektonischer Störungsfläche mit typisch hellgrüner Farbe

Klinozoisit auf Quarz, radialstrahlig, pink



Metamorphe Minerale

► Cordierit (Ringsilikat)



Typischerweise in **Kontaktmetamorphiten** zu finden

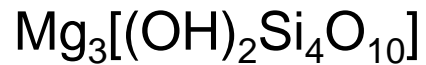


Cordierit-Schiefer –
Cordierit Porphyroblasten in einem
Glimmerschiefer (**Knotenschiefer**) –
typisch für Kontaktmetamorphose

Bildung: Granulitfazies,
Hornfelsfazies

Metamorphe Minerale

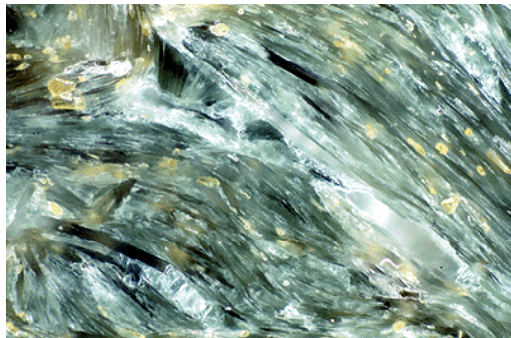
► Talk (Schichtsilikat)



Härte = 1

Entsteht metamorph-metasomatisch typischerweise als **sekundäres Umwandlungsprodukt** aus mafischen Mineralen (z.B. Olivin, Pyroxen).

Gemahlen als **Talkum** industrielle Verwendung, massiver Talk ist bekannt als **Speckstein** (sehr weiches Material)



Talk im
Dünnschliff

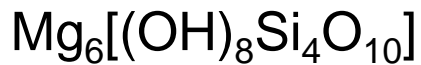
Talkschiefer
mit Smaragd



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Minerale

► Serpentin-Gruppe (Schichtsilikat)



Polymorphe Gruppe mit rhombischer, monokliner oder trikliner Symmetrie. Wichtige Vertreter sind **Chrysotil** (=Faserserpentin, Chrysotilasbest) und **Antigorit** (=Blätterserpentin).

Entsteht wie Talk aus Mg-reichen, d.h. aus **mafischen Mineralen** der ozeanischen Kruste und des Mantels:

Bildung: Ozeanbodenmetamorphose

Serpentinit



Lizardit

Metamorphe Minerale

► Chlorit-Gruppe (Schichtsilikate)

Ähnlich dem Talk, jedoch **höherer Fe-Gehalt**, häufig grün gefärbt.

Geringe Härte und gute Spaltbarkeit.

Typisch:

1. in **niedriggradigen Metamorphiten (Grünschiefern)**
2. *sekundär* aus mafischen Mineralen (Biotit, Amphibol, Pyroxen)
3. **retrograd** aus Granat.

Bildung: Zeolithfazies, Grünschieferfazies, Blauschieferfazies



Chlorit-schiefer



Umwandlung von Biotit in Chlorit (im Dünnschliff)

Metamorphe Minerale

► Glaukophan (Natronamphibol)



Typisch in

Hochdruckmetamorphiten,

hier namensgebend:

Glaukophanschiefer

= **Blauschiefer** wg. der schwach bläulichen Farbe des Glaukophans)

Bildung: Blauschieferfazies



Glaukophan-Gneis



Typisch stängel-
prismatische
Kristalle des
Glaukophan

Glaukophan in Blauschiefer



Eklogit mit Granat und grünem Omphacit px (oben)
und
Blauschiefer mit Glaukophan und Granat (unten)

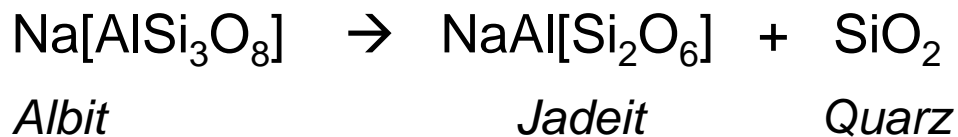
Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Minerale

► Jadeit (Na-Pyroxen)



Ebenfalls typisch in **Hochdruckmetamorphiten**, fast immer gemeinsam mit Glaukophan (typische **Paragenese!**). Entsteht bei Druckzunahme durch den Zerfall von Albit:

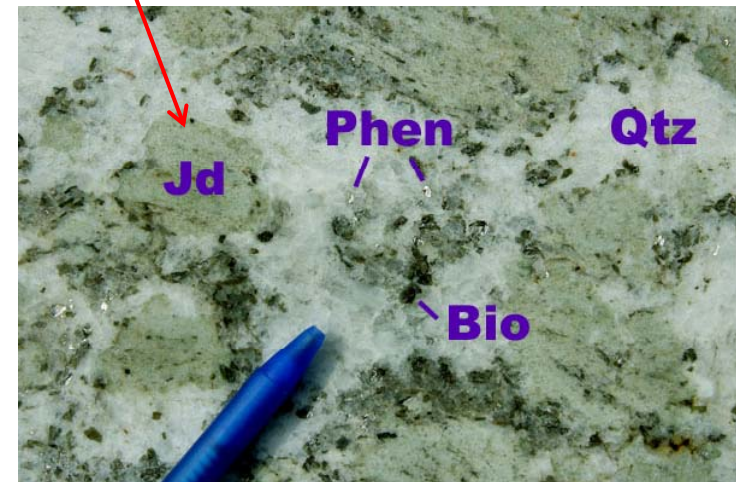


Bildung: Blauschieferfazies, Eklogitfazies



Jadeit

Eklogitfazieller Jadeit in Meta-Granodiorit, Paragenese mit Phengit, Quarz, Biotit



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphe Minerale

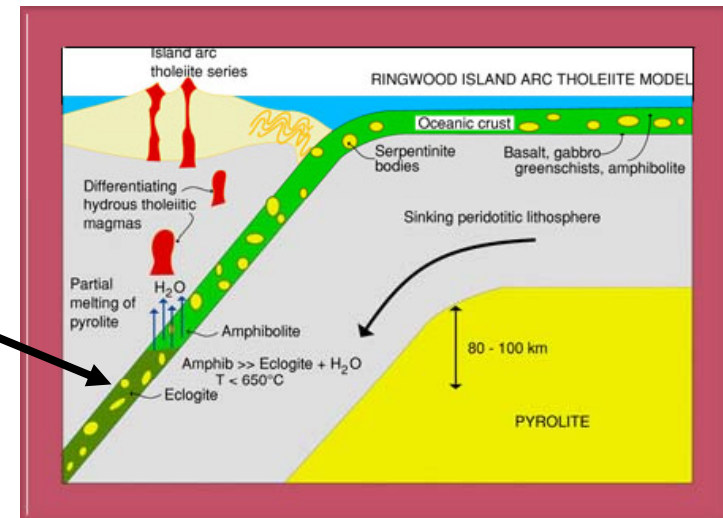
► Omphacit (komplexer Pyroxen)

Mischkristall aus Jadeit und Augit: $(\text{Na,Al,Ca,Mg,Fe})_n [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Typisch in **Ultrahochdruck-Gesteinen** der **Eklogit-Fazies**,
dann häufig zusammen mit Granat



Eklogit mit Granat (rot) und Omphacit (grün)



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Omphacit

Eklogit: Meta-Basalt, 500 – 1000°C, ab 10 kbar (ca. 35km Tiefe), Subduktionszone



Eklogit mit Granat und grünem Omphacit

Die beiden Gesteinstypen entstanden während eines einzigen metamorphen Events einzig aufgrund ihrer unterschiedlichen Zusammensetzung !

Blauschiefer mit Glaukophan und Granat

Credit: Ralf Hetzel

Blauschiefer: Meta-Basalt, 200 – 400 °C, 6-12 Kilobar: Subduktionszone

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Regionalmetamorphose

Welche Gesteine bei der **Regionalmetamorphose** entstehen, hängt vom **Ausgangsmaterial** (Protolith, Edukt) und von den **p-T-Bedingungen** ab.

So entsteht z.B. aus *Granit und Grauwacken*, die chemisch & mineralogisch oft sehr ähnliche Zusammensetzung haben

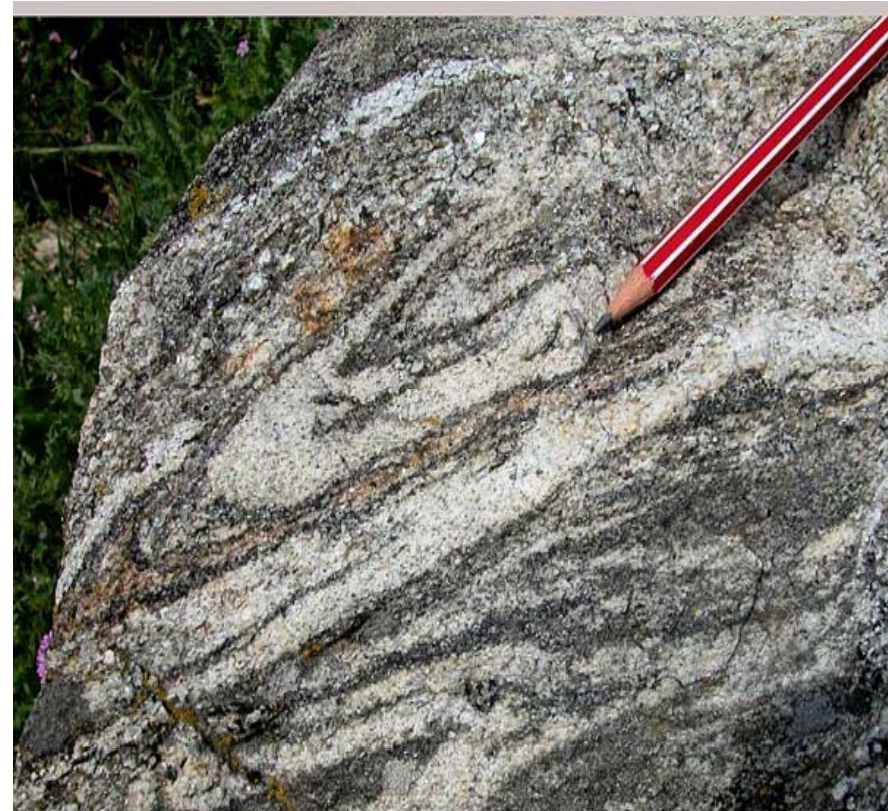
(aber völlig unterschiedlich entstanden sind),

bei der Regionalmetamorphose dasselbe metamorphe Gestein:

Gneis



Bedingungen:
Gebirgsbildungsprozesse –
Geodynamische Settings
metamorphe Fazies - Bedingungen



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Regionalmetamorphose

Ausgangsmaterial (Protolith)	Sub-Grünschiefer- Fazies	Grünschiefer- Fazies	Amphibolit- Fazies	Granulit/Eklogit- Fazies
Tonstein	Tonschiefer (Metapelit)	Phyllit (Serizit, Qz)	Glimmerschiefer (Musk, Qz, Gt)	Paragneis (Qz, Fsp, Bt)
Mergel	Schiefer	Kalkphyllit (Calcit, Serizit)	Kalkglimmer- schiefer (Cc, Mk)	Kalksilikat- schiefer, -fels
Sandstein	Quarzit	Quarzit	Quarzit	Quarzit
Arkosen	Metaarkose (Qz, Fsp, Serizit)	Paragneis (Qz, Fsp, Musk)	Paragneis (Qz, Fsp, Musk)	Paragneis
Grauwacken	Metagrauwacke (Qz, Fsp, Serizit)	Paragneis (Qz, Fsp, Musk)	Paragneis	Paragneis
Kalk, Dolomit	keine Veränderung	Marmor	Marmor	Marmor
Granit, Rhyolith	keine Veränderung	Metagranit bzw. Porphyroid (Qz, Fsp, Ser.)	Orthogneis (Qz, Fsp, Bt, Mk)	Orthogneis (Qz, Fsp, Bt, Mk)
Basalt, Gabbro	keine Veränderung	Grünschiefer (Chl, Plag, Ep, Akt)	Amphibolit (Amph, Plag, Gt)	Eklogit (Gt, Omph)

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Hochdruckmetamorphose

Glaukophanschiefer (Blauschiefer)

Entstehen aus subduzierten
vulkanogenen & sedimentären
Gesteinen mit u.a.

Glaukophan, Muskovit, Chlorit,
Jadeit, Albit, Epidot, Qz, Aragonit,
etc:

Albit + Chlorit → Glaukophan + H₂O

Bedingungen:

Subduktionszone - **Blauschieferfazies**

200 – 500°C, 6kbar = 15-18 km Tiefe

→ HP/LT

Steigen die Temperaturen weiter an:

Grünschiefer- bzw. Eklogitfazies



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Hochdruckmetamorphose

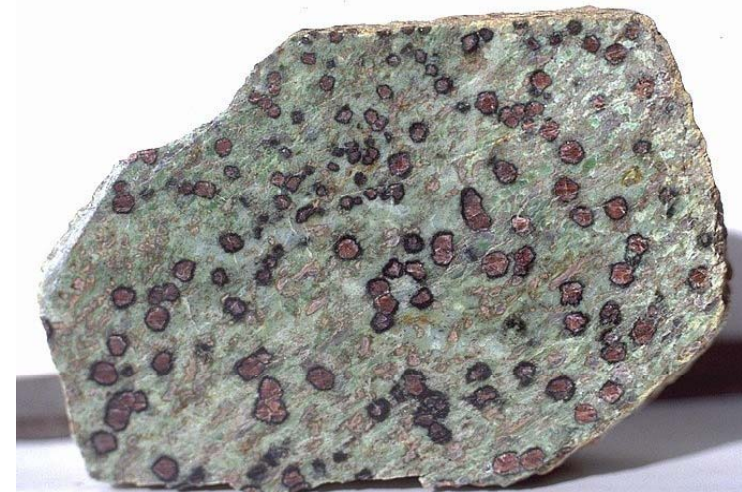
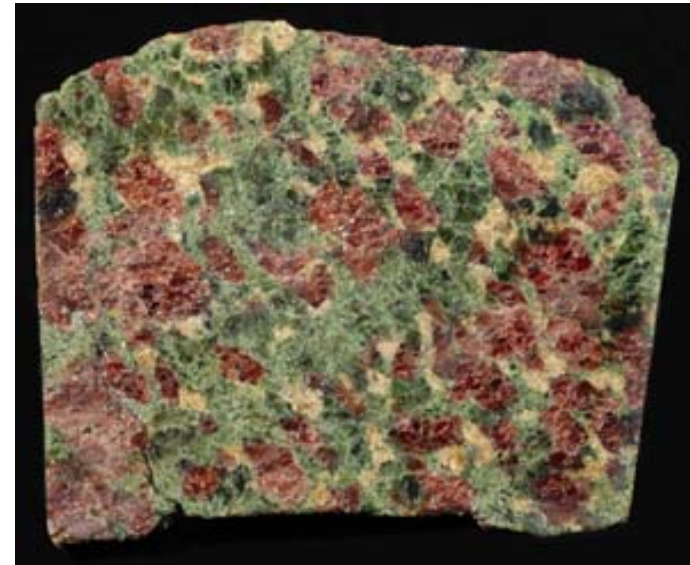
Eklogit

Entsteht aus mafisch-ultramafischen Magmatiten: Basalt, Gabbro, Peridotit unter „trockenen“ Bedingungen.
Bildet sich NUR unter Bedingungen des Erdmantels oder an der Basis einer verdickten kontinentalen Kruste

Bedingungen:
Subduktionszone - **Eklogitfazies**
400 – 1000°C, im Mittel: 600°C
12kbar = 45 km Tiefe
→HP/HT

Grobkörniger Eklogit in grüner Matrix aus **Omphazit** – Mineralparagenesen: **Granat**, Quarz, Coesit, Disthen, Phengit, Rutil, Amphibol

Coesit:
UHP Mineral bei Drücken
➤20kbar
➤70km Tiefe



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Hochdruckmetamorphose

Weißschiefer

Ausgangsgestein:

Basalt, Granit, Orthogneis, selten Pelit

- aus Chlorit – Serizit – Quarz Schiefern entsteht *prograd*
- Talk – Disthen – Schiefer = Weißschiefer

Retrograd: Cordierit, Enstatit & Chlorit

Bedingungen:

Subduktionszone – **Eklogitfazies** – **Amphibolitfazies**

➔ **Metasomatose**

550 – 850°C, 10kbar = 30 km Tiefe

➔ **HP/HT**



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Hochdruckmetamorphose

Granulit

entsteht trocken unter **granulitfaziellen Bedingungen** mit *grano-blastischem Gefüge* aus mafischem bis felsischem Ausgangsgestein.

Typische Minerale je nach Ausgangsgestein:

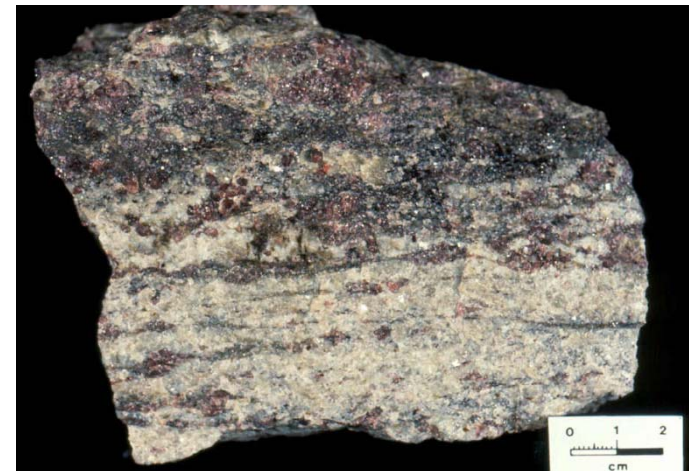
Feldspat, Quarz, Granat.

Dunkle Gemengteile sind wassersfrei:

Pyroxen & Granat:

Amphibol → Px + H₂O

Biotit → K-Feldspat + Granat + Opx + H₂O



Bedingungen:

HP-Metamorphose

Tiefe kontinentale Kruste

650 – 750°C, bisweilen > 1000°C

5-15kbar = 15-45 km Tiefe

Prograd aus Amphibolitfazies

Metamorphose: Gesteine der Hochdruckmetamorphose

Migmatite I

Bei mehr als 650-700°C findet in *felsisch-intermediären* Gesteinen folgende Reaktion statt:



Freiwerdende Fluide führen zur **Anatexis**

Sind keine Fluide vorhanden, entstehen Gesteine der **Granulitfazies**, d.h. keine Schmelzbildung. Schmelzbildung dann erst bei 700 - 800°C.

Migmatite sind also **partiell aufgeschmolzene** Gesteine, die bei der **Anatexis** (= partielle Aufschmelzung) krustaler (also intermediär bis felsischer) Gesteine (z.B. Gneis) entstehen.

Migmatit = Anatexit = *engl.*: diatexite

Metamorphose: Gesteine der Hochdruckmetamorphose

Migmatite II

Bei Migmatiten (Anatexiten) unterscheidet man die **neugebildete Schmelze** (= **Leukosom**, vorwiegend helle Minerale wie Plag, Qz) vom **Restit** (= **Melanosom**, meist reich an Biotit, Hornblende, z.T. Hellglimmer).

Da bei der Anatexis aus Gneis **granitische Schmelzen** entstehen, unterscheidet man bei den Graniten solche, die aus Metasedimenten entstanden sind (**S-Typ Granite**) von solchen, die primär magmatisch entstanden sind (**I-Typ Granite**).

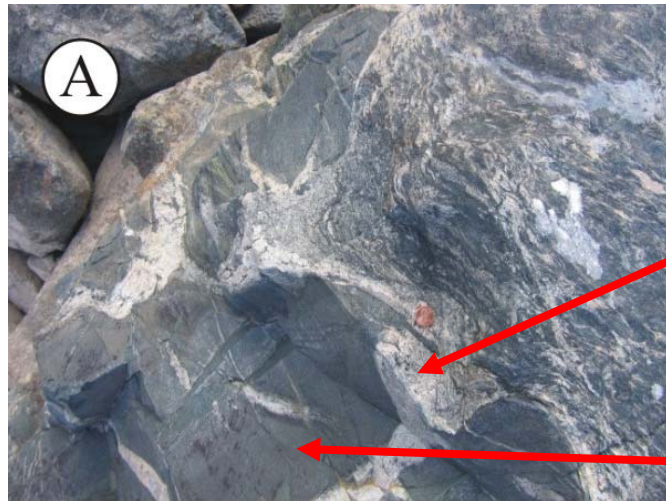
Leukosom = neu aufgeschmolzenes Material



Melanosom = Restit

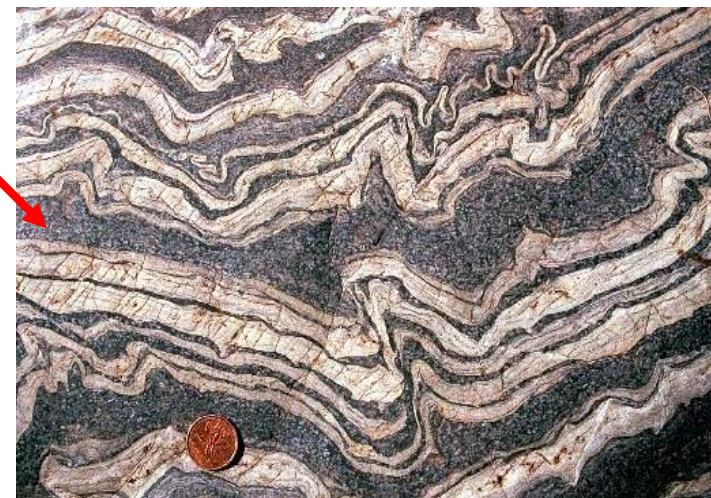
Metamorphose: Gesteine der Hochdruckmetamorphose

Migmatit – ptygmatische Faltung



Leukosom

Melanosom =
Restit



Metamorphose: Gesteine der Hochdruckmetamorphose

Migmatit – Restit



Restit: Schwer aufschmelzbarer Überrest des Ausgangsgesteins , aus dem sich das Leukosom gebildet hat (Melanosom = Restit). Häufig als dunkler Saum um das Leukosom.

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Kontaktmetamorphose

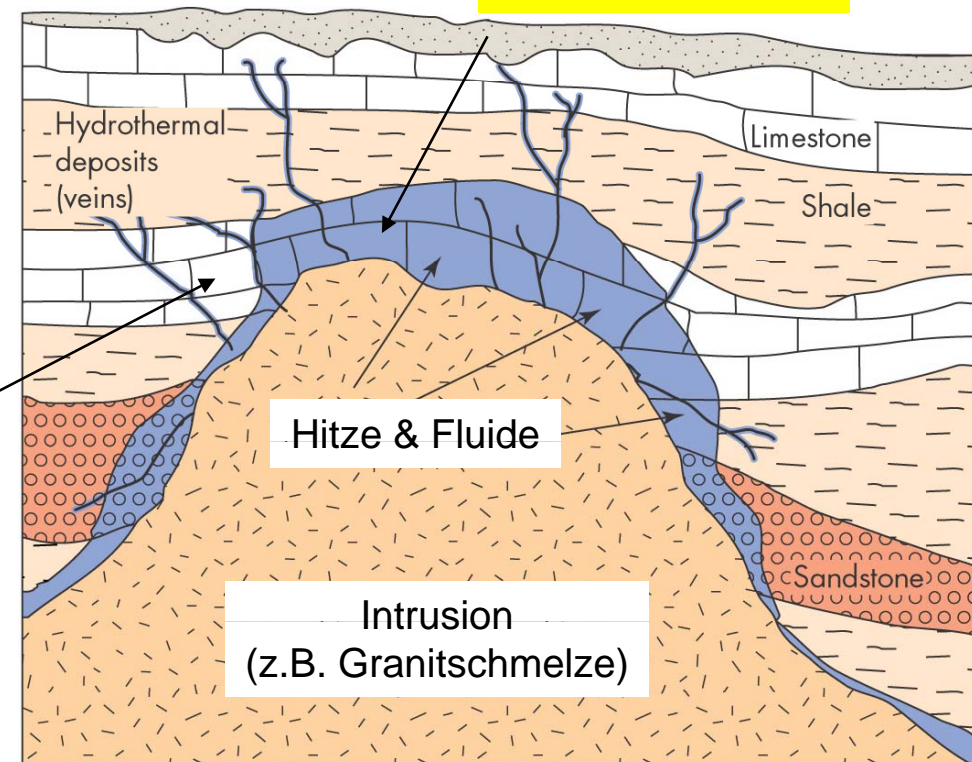
Gesteine der Kontaktmetamorphose

Kontaktmetamorphose = **Hochtemperaturmetamorphose** bei hohen Temperaturen/wenig Druck im **Kontaktbereich** von Intrusionen (Plutonen).

Findet v.a. bei **Granit-intrusionen** statt, da viel fluide Phase als Reaktionsmedium zur Verfügung steht:
Metasomatose.

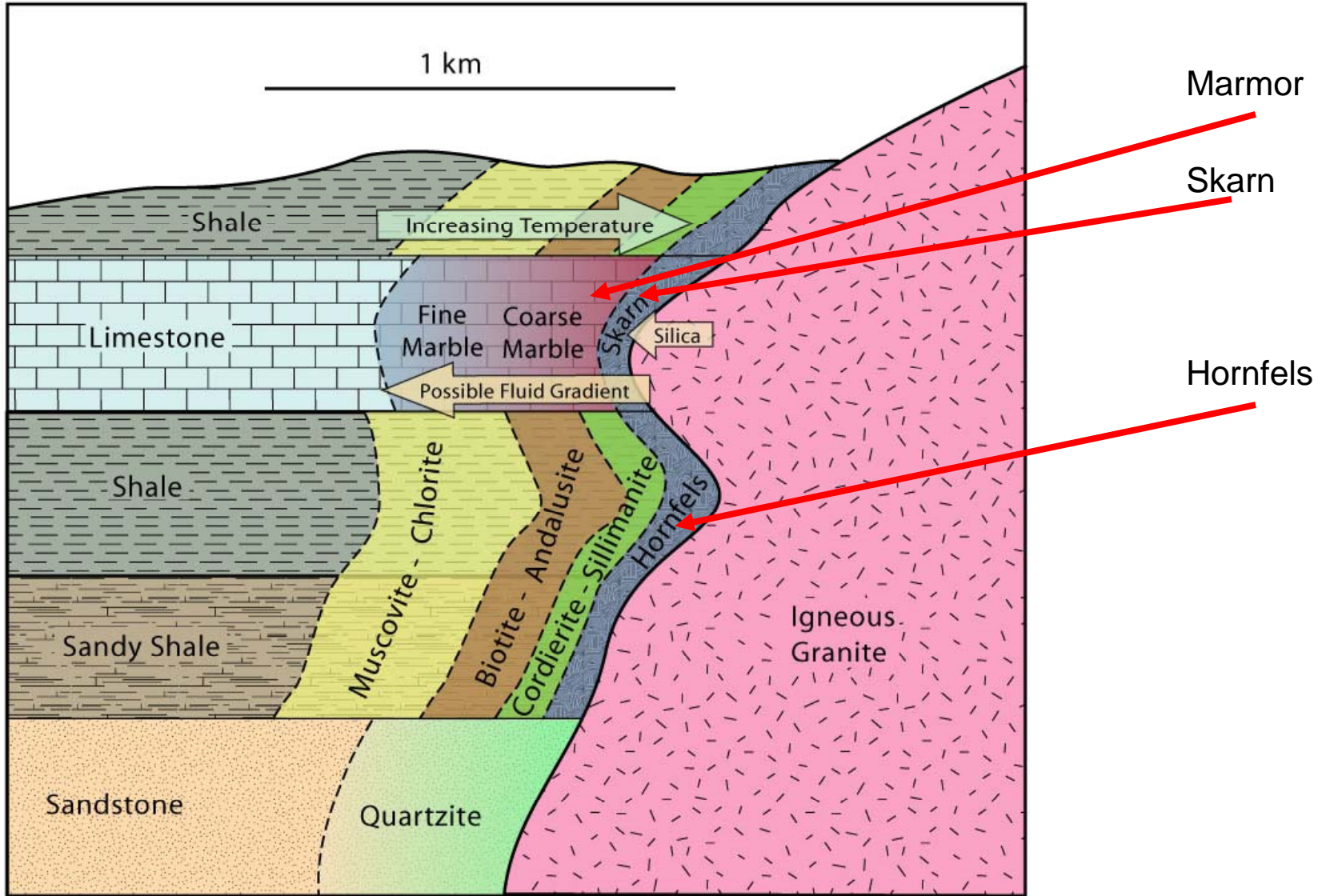
Äußerer Kontakthof

Innerer Kontakthof



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Kontaktmetamorphose



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Kontaktmetamorphose

Ausgangsmaterial (Protolith)	Innerer Kontakthof rd. 500 – 550°C	Äusserer Kontakthof <500°C
Tonstein	Hornfels (Ser, And, Cord, Bt, Musk, Qz)	Knotenschiefer
Kalk	Marmor, Kalksilikatmarmor	
Mergel	Kalksilikatfels, Skarn (Diopsid, Gros, Epid, Hbl, Cc, Wo, Plag)	
Sandstein	Quarzit	
Kohle	Anthrazit	

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Kontaktmetamorphose

Gesteine der Kontaktmetamorphose: Marmor



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Kontaktmetamorphose

Hornfels

Dichtes, relativ *feinkörniges Gefüge*, vollständig *rekristallisiert*.

Mineralbestand variabel mit Andalusit, Cordierit, Biotit, Muskovit, Qz, \pm Plag (Edukt: Pelite), bzw. mit Diopsid, Grossular, Vesuvian, Epidot, \pm Cc, \pm Wo, \pm Plag (Edukt: Mergel/Kalkmergel).

Typisch: ehemalige Schichtung bleibt bestehen, muscheliger Bruch: Feuerstein



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Kontaktmetamorphose

Knotenschiefer (Fleck-, Garben-, Fruchtschiefer)

Unvollständige Umwandlungsprodukte der Kontaktmetamorphose.

Oft **Porphyroblasten** (Knoten, Flecken) aus **Cordierit**, **Andalusit**, Biotit, Amphibol in wenig veränderter Grundmasse (Edukt: Tonschiefer, Phyllit).



Cordierit-Schiefer



Andalusit-„Fruchtschiefer“
Theuma, Erzgebirge, Sachsen, Deutschland

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Kontaktmetamorphose

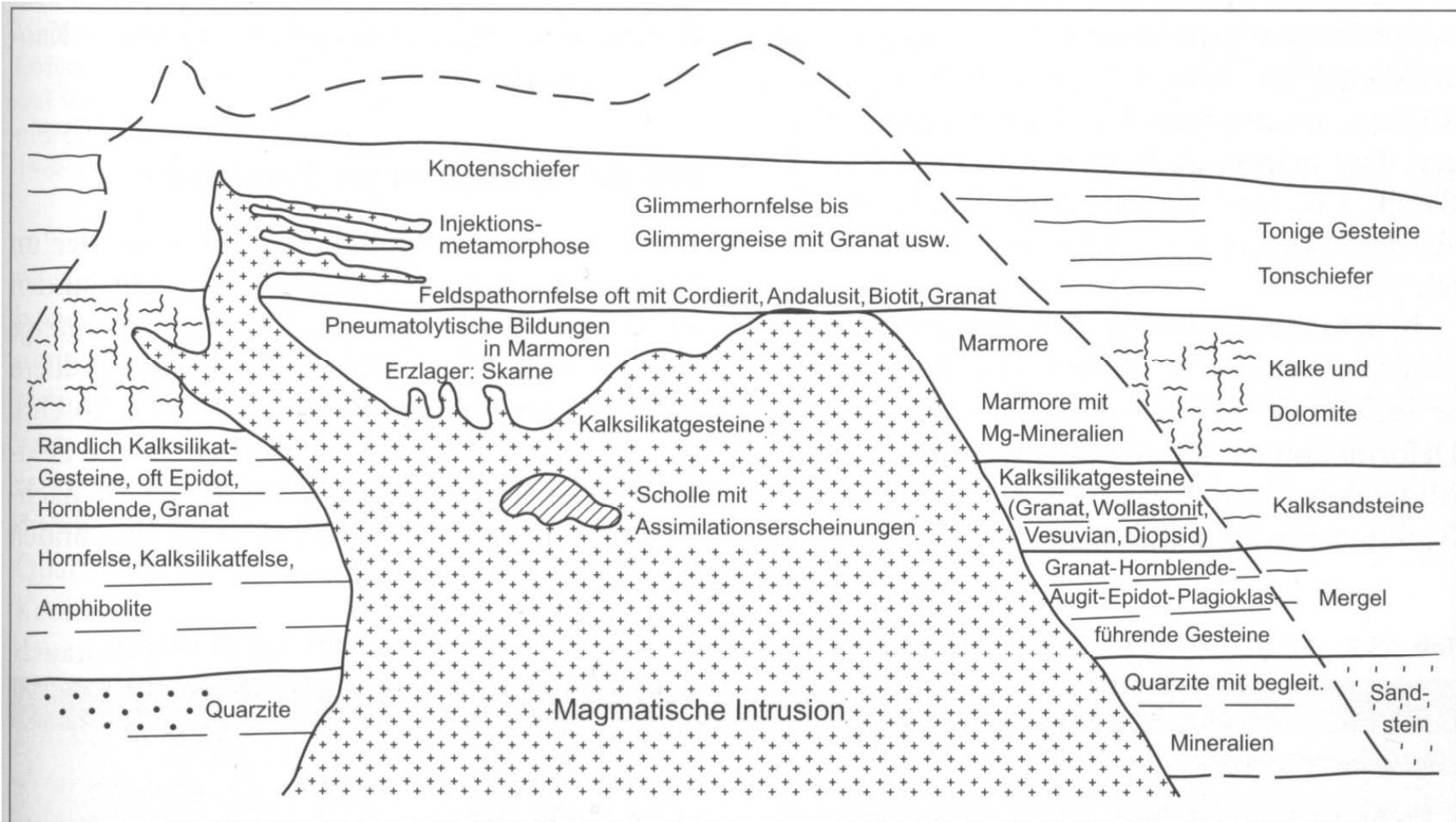
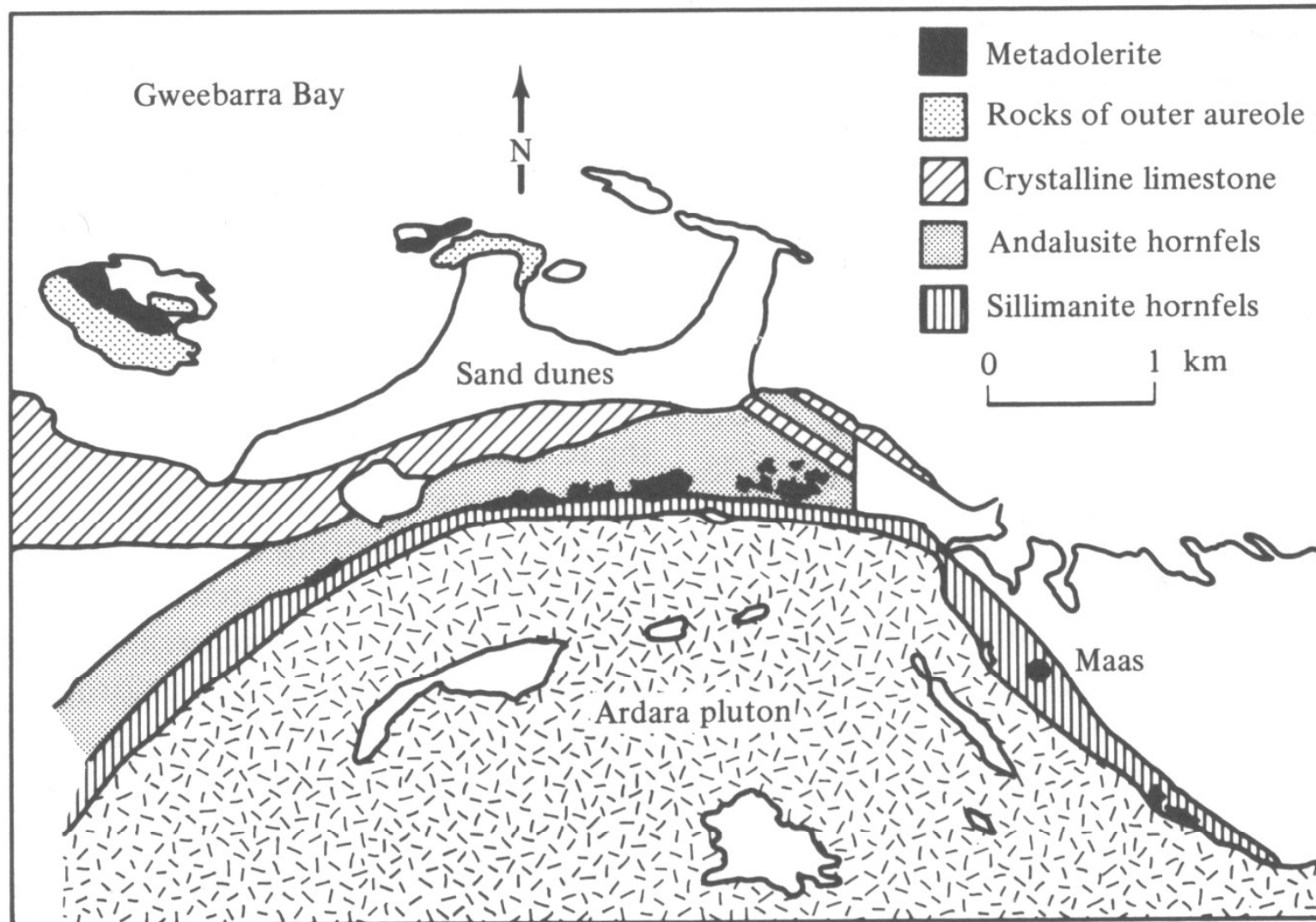


Abb. 13.4 Schema der Kontaktmetamorphose und ihrer Produkte im Kontakthof (gestrichelt) einer Intrusion (vgl. auch Tab. 13.3) (aus ZEIL, 1990).

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Kontaktmetamorphose



Metamorphose: Gesteine der Ozeanbodenmetamorphose

Gesteine der Ozeanbodenmetamorphose → Retrograde Metamorphose

Bei der **Ozeanbodenmetamorphose** entstehen aus den mafischen Gesteinen der ozeanischen Lithosphäre „**Grünsteine**“ mit i.W. **Chlorit, Epidot & Hornblende**.

Aus den ultramafischen Gesteinen entstehen **Serpentinite** mit den Mineralen **Serpentin & Talk**.

Serpentinit

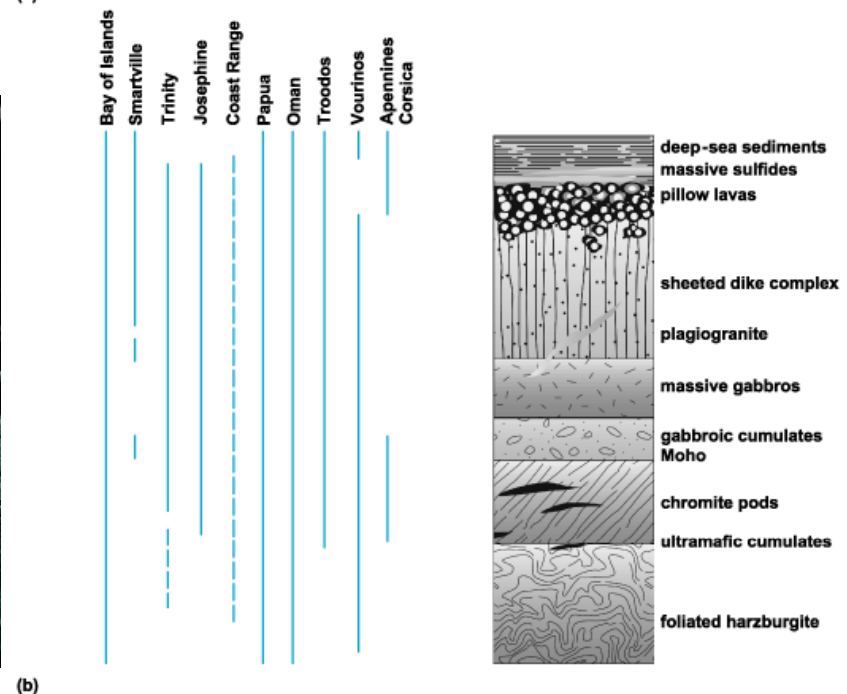
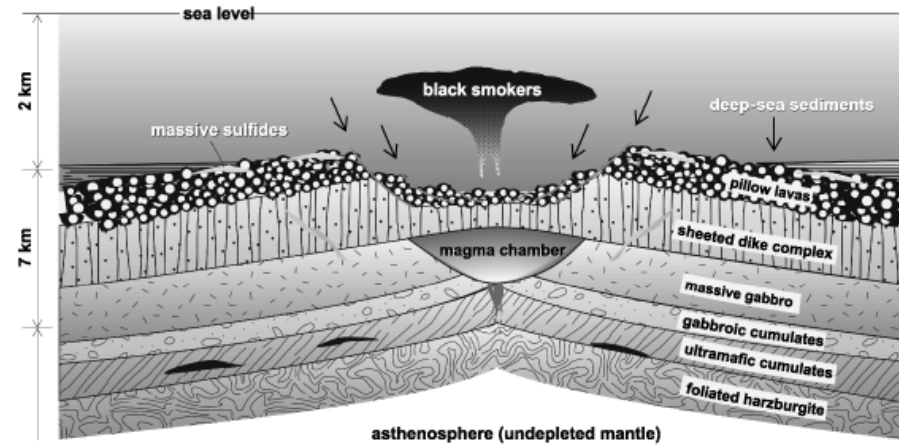


Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Ozeanbodenmetamorphose

Schnitt durch die ozeanische Kruste

Die Basalte, meist in Form von sheeted dykes und Pillow Laven, werden retrograd metamorph durch den Einfluß von heißen Fluiden aus dem Erdmantel und Meerwasser. Es entstehen "Grünsteine" – Grünschieferfazies.



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose: Gesteine der Ozeanbodenmetamorphose

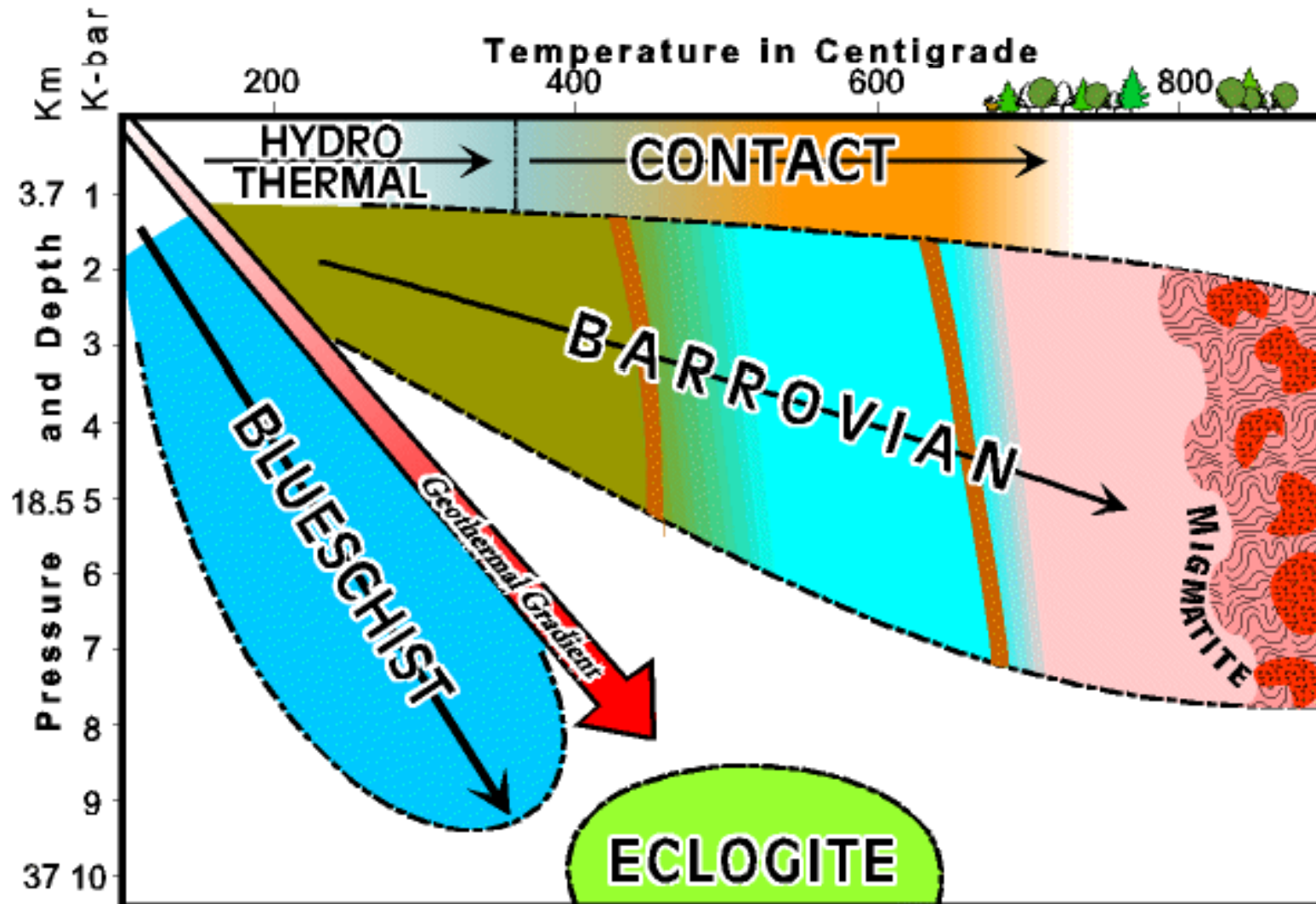
Werden Harzburgite von den heißen Fluiden erfaßt, werden diese serpentinisiert.

Die dünnen Gängchen im Serpentin sind mit Calciumkarbonat gefüllt. Das Gestein nennt man auch Ophicalcit.



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose

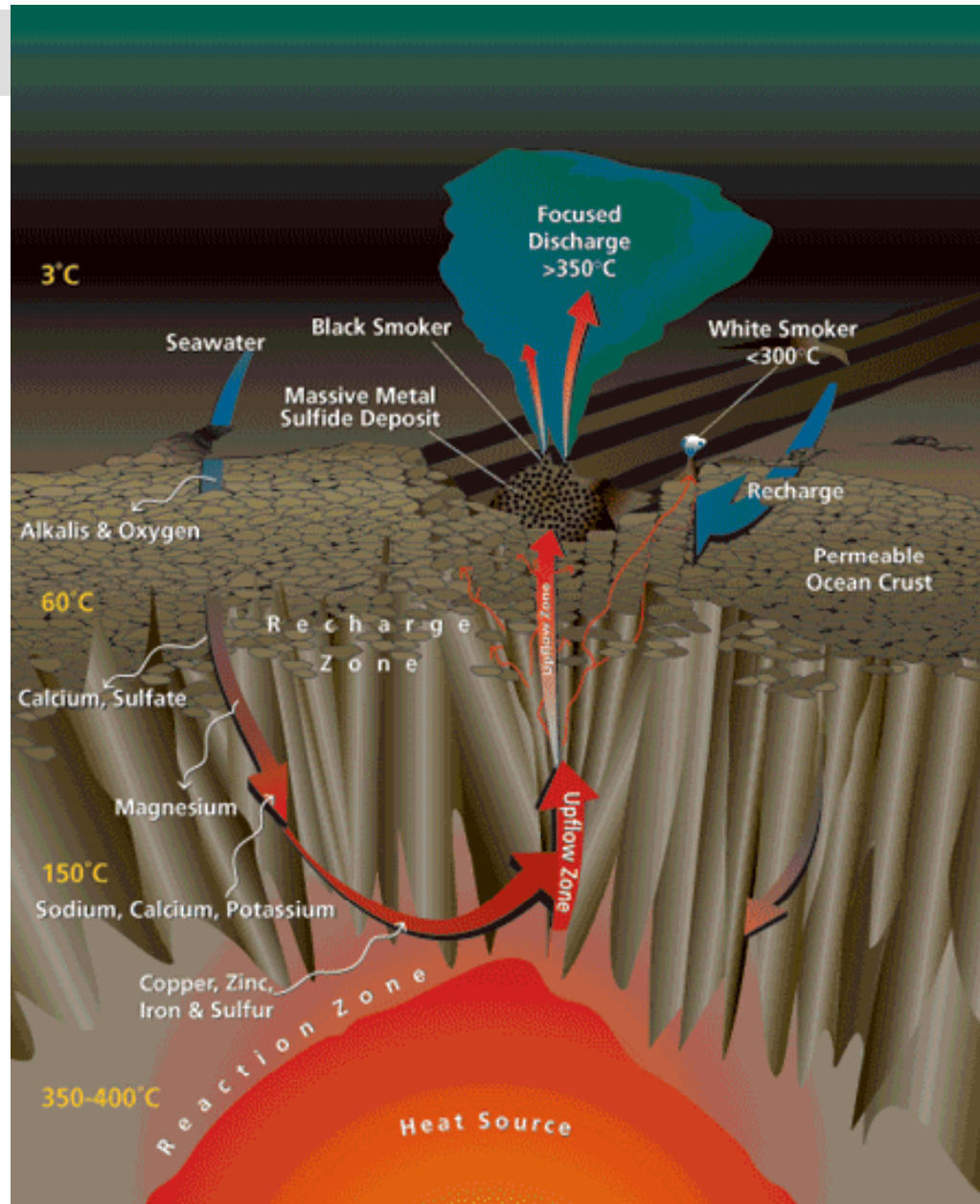


Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose

Ozeanboden-
Metamorphose

Hydrothermale
Alteration



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose – Minerale der Regionalmetamorphose

Pyrop:	$Mg_3Al_2[SiO_4]_3$	tiefrot
Almandin:	$Fe_3Al_2[SiO_4]_3$	rotbraun – braun
Biotit:	$K(Mg,Fe^{2+},Mn^{2+})_3[(OH,F)_2 (Al,Fe^{3+},Ti^{3+})Si_3O_{10}]$	
Muskovit:	$KAl_2[(OH,F)_2 AlSi_3O_{10}]$	
Chlorit:	$(Fe,Mg,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	grün
Plagioklas:	$(NaAlSi_3O_8)$ Albit	$(CaAl_2Si_2O_8)$ Anorthit
Epidot:	$Ca_2(Al,Fe^{III},Mg)_3(SiO_4)_3OH$	hellgrün
Aktinolith:	$Ca_2(Mg,Fe^{2+})_5[OH Si_4O_{11}]_2$	
Omphazit:	$(Ca,Na)(Al)Si_2O_6$ - Ca,Na-Pyroxen	grün

Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose – Gesteine der Regionalmetamorphose

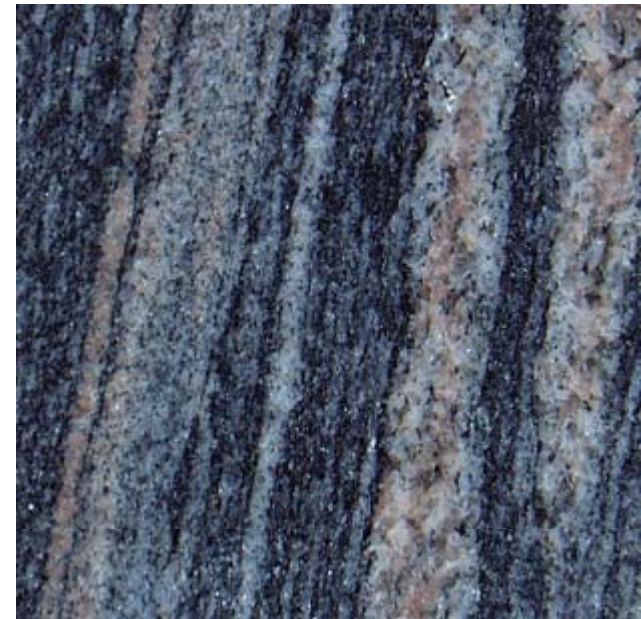
Paragneis

- mittel- bis grobkörnig
- sedimentäres Ausgangsgestein:
 - Unreife Sedimente: Arkose, Grauwacke, Flysch (Hangschutt] – marin !
 - Mineralbestand: 1. Quarz-Feldspat-Lagen 2. dunkle glimmerreiche Lagen: Biotit, Muskovit, Amphibol
- Minerale der Regionalmetamorphose: Sillimanit, Andalusit, Disthen, Cordierit, Staurolith oder Granat
- Entstehung: Amphibolithfazies im Bereich einer Subduktionszone
- tektonische Gefügestrukturen: Scherlinsen, Strecklineation, Faltung
- durch Anatexis entstehen Granitoide

Orthogneis

- Magmatisches Ausgangsgestein

Migmatisierter Paragneis – feinkörnig –
Feldspat, Quarz, Biotit →



Die wichtigsten Gesteine und ihre Entstehung: (3) Metamorphe Gesteine

Metamorphose – Gesteine der Regionalmetamorphose

Marmor

- mittel- bis grobkörnig
- Metamorphe Umwandlung von Kalkstein, Dolomit
- bei best. p/t-Bed.: duktil verformbar: Falten und Fließgefüge: Marmorierung oft durch Bemengungen wie Hämatit, Graphit, Chlorit
- keine Fossilien
- Spaltflächen der Calcitkristalle makroskopisch zu erkennen
- weißer Marmor: lichtdurchlässig
- Härte: 3-4



Quarzit

- fein- bis mittelkörnig
- Farbe: Beimischungen von Magnetit, Pyrit, rötlich durch Eisenminerale
- rekristallisierte Quarzkörner
- Entstehung: aus Sandstein, Radiolarit
- organische Bestandteile werden in Graphit umgewandelt,
- Tonminerale in Muscovit oder Phengit
- Härte: 7

