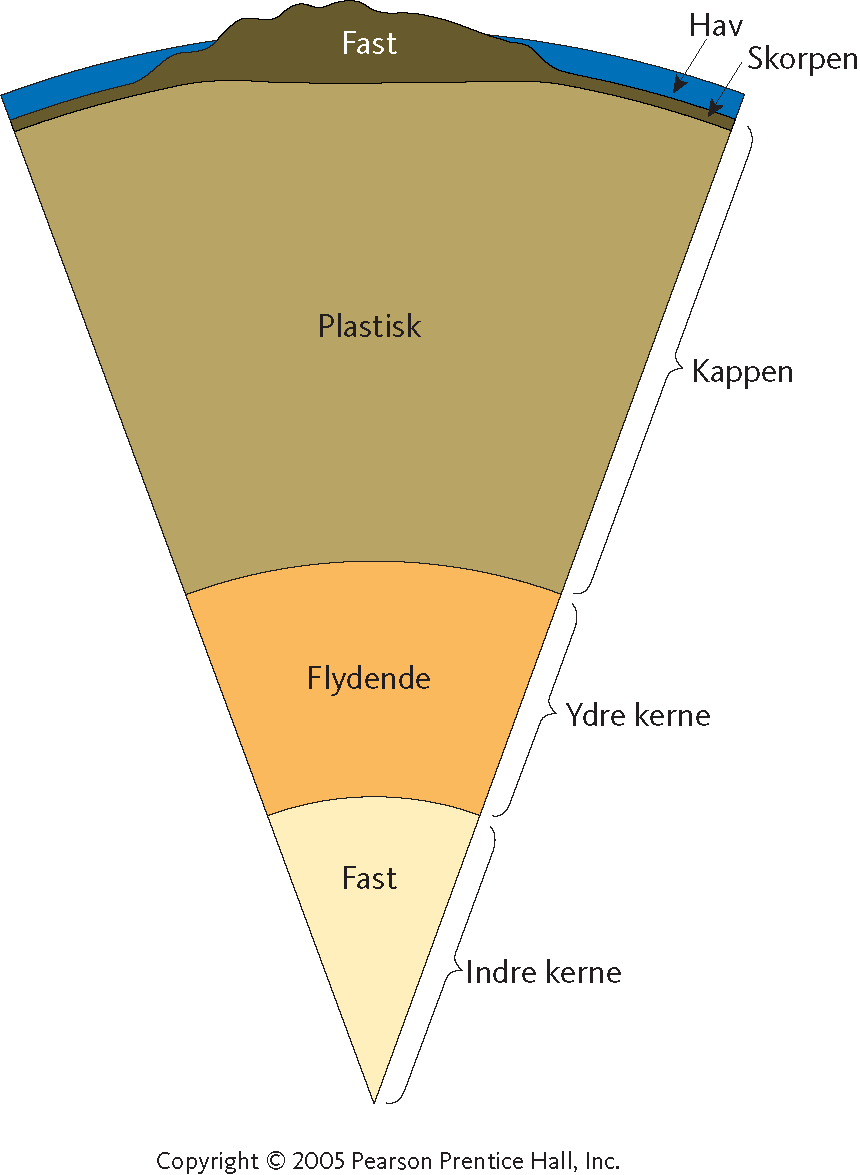
# Det geologiske kredsløb og isostasi

## Bjergarternes densitet har betydning for fordelingen af oceaner og kontinenter og begrebet isostasi

*Formål*

At undersøge hvorfor vi har oceaner og kontinenter, hvorfor der opstår subduktion, og hvad det har at gøre med densitet og simple fysiske love som opdrift og tyngdekraft.

*Opgave*

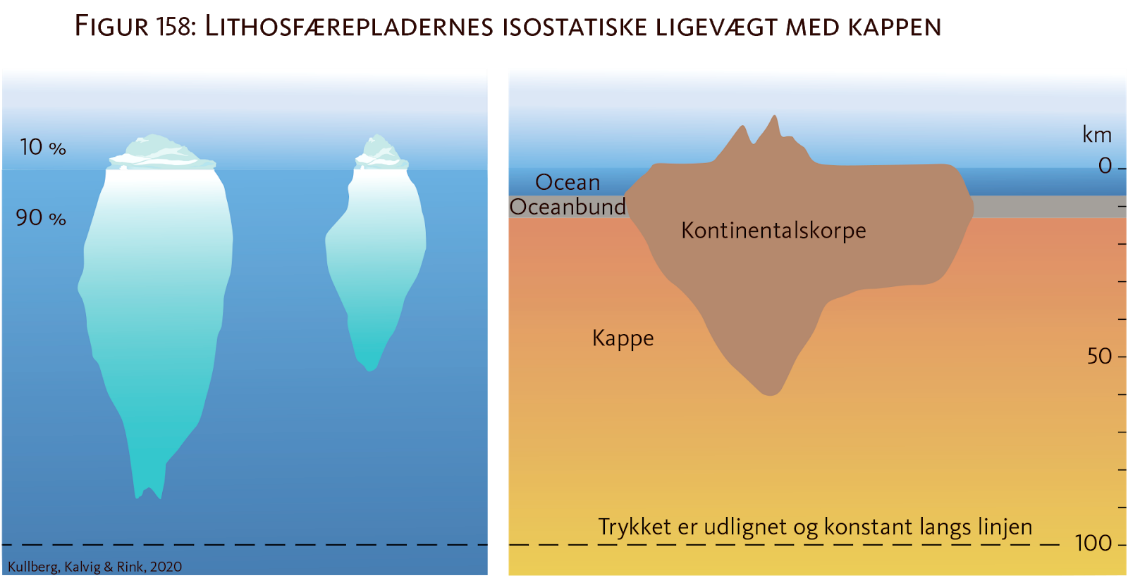


Figur 19-1. Skematisk opbygning af Jorden.

**Baggrundsteori**

Jordoverfladen er til enhver tid påvirket af tyngdekraften, som presser nedad på jordskorpen samtidig med, at opdriften skubber den anden vej. Skorpens densitet er lidt lavere end kappens, hvilket medfører at skorpen flyder oven på kappen. Der vil opstå en ligevægt mellem de to kræfter; en stor del af skorpen vil synke ned i kappen med en lille del der stikker op af kappen. Det er lidt ligesom et isbjerg, der kun har 10-15 % af sin masse over havoverfladen, se Figur 158 *Lithosfærepladernes isostatiske ligevægt med kappen*. Jo større forskel der er på densiteten af væsken, og det legeme der flyder i væsken, des større andel vil stikke op over overfladen. Det er præcis som vi kender det fra vand; en korkprop flyder rigtig godt ovenpå, mens et stykke træ kun lige akkurat vil stikke en lille tip op. Det er illustreret i Figur 158.

Densiteten af de forskellige lag i jorden er afgørende for, hvordan den er inddelt, og hvordan de pladetektoniske processer foregår.



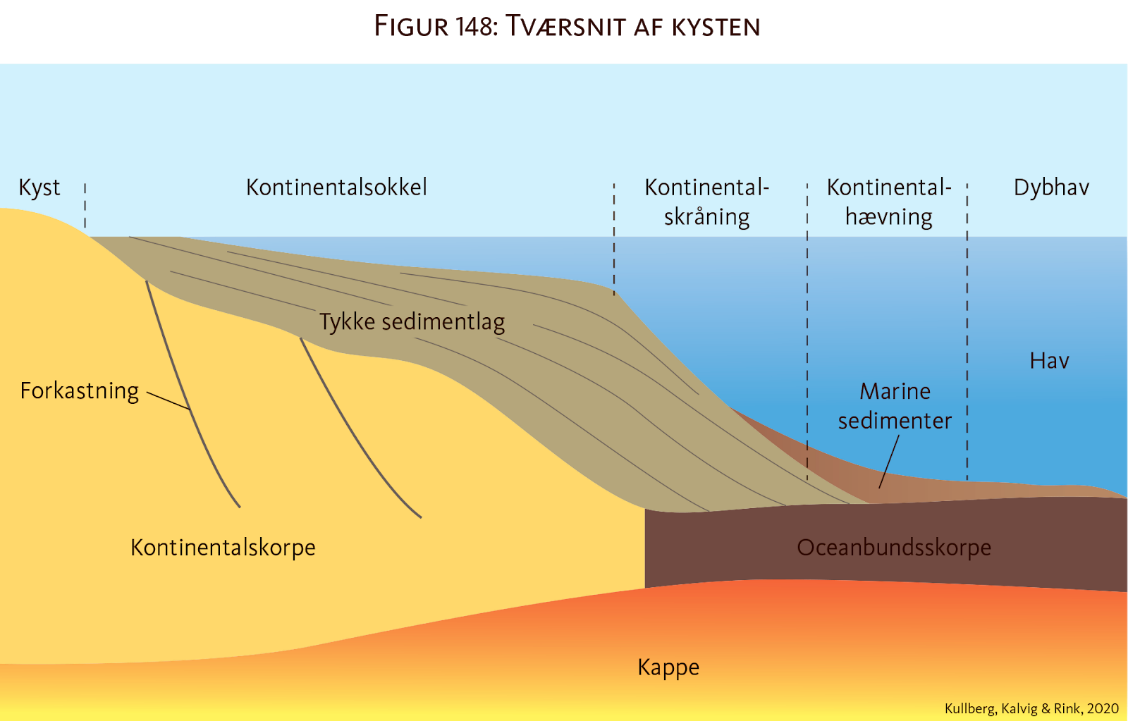
Figur 158. Lithosfærepladernes isostatiske ligevægt med kappen kan sammenlignes med isbjerge i havet. Lige meget hvor stort et isbjerg er, vil ca. 10 % stikke op over overfladen. På samme måde vil et kontinent, der fortykkes i en bjergkædefoldning, gemme det meste af sin masse nede i kappen, og når bjergene borteroderes, vil kontinentet stige længere op. Af MiMa (2019).

**Fremgangsmåde, densitet af bjergarter**

Først skal vi finde densiteten af tre bjergartsprøver, som er knyttet til de tre zoner; kappen, og de to forskellige grupper i skorpen: oceanbunden og kontinentet, illustreret i figur 19-1 *Skematisk opbygning af Jorden* og Figur 148 *Tværsnit af kysten*.

1. **Kappen**; repræsenteret af den bjergartsprøve der i skolens samling hedder dunit, peridotit eller eklogit.
2. **Oceanbunden**; repræsenteret af bjergarten gabbro
3. **Kontinentet**; repræsenteret af bjergarten granit

* Beskriv de tre prøver mht. kornstørrelse og mineralernes farve. Prøv om du kan navngive nogle mineraler.
* Find densiteten af de tre prøver ved hjælp af en vægt og et målebæger med vand og noter resultaterne i en tabel i Excel (se opbygning i Tabel 19-1 *Skema til beskrivelse af bjergarter og beregning af densitet*).



Figur 148. Tværsnit af kysten hvor den tykke kontinentalskorpe bliver til tynd ocean­bundsskorpe og tykke lag af sedimenter aflejres på overgangen fra kontinent til ocean. Overgangen fra kyst til dybhav er inddelt i fem zoner. Af Kullberg, Kalvig og Rink (2020).

Archimedes lov siger: *at når et legeme nedsænkes i en væske, taber legemet lige så meget i vægt som den fortrængte væske vejer*. Legemet er altså foruden tyngdekraften også påvirket af opdrift.

I denne sammenhæng betyder det, at vi kan nedsænke bjergartsprøven i vand, og hvis den ikke hviler på bunden af vandbeholderen, er vægtændringen bjergartsprøven ‘vil opleve’ lig med bjergartsprøvens volumen (da 1 cm3 vand vejer 1 g).

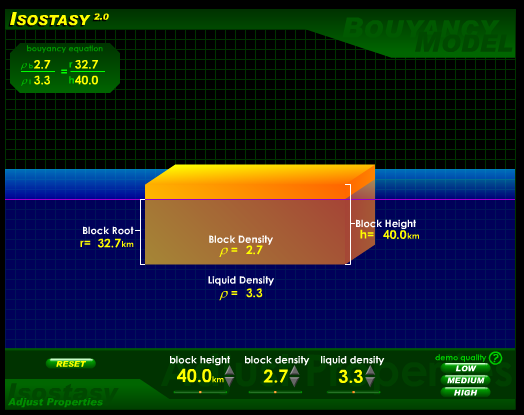
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Prøve | Beskrivelse af bjergart | Masse (g) | Volumen (ml) | Densitet (g/ml) | Navn |
| A |  |  |  |  |  |
| B |  |  |  |  |  |
| C |  |  |  |  |  |

Tabel 19-1. Skema til beskrivelse af bjergarter og beregning af densitet.

**Fremgangsmåde, simulering af isostasi**

Ved hjælp af de tre bjergarters densitet skal vi nu undersøge, hvordan de forskellige plader flyder i kappen, og hvad der sker, når kontinentet fortykkes i en bjergkædefoldning.

Brug følgende link (man skal bruge Adobe Flash player) <http://www.geo.cornell.edu/hawaii/220/PRI/isostasy.html>, hvor du kommer til et program, der kan simulere isostasi.



Figur 19-2. Simulering af isostasi.

I programmet kan I ændre på tre parametre:

1. Block height – her skal I angive højden/tykkelsen af den blok (block), som skal forestille at være en lithosfæreplade.
2. Block density – her skal I angive den densitet, I har fundet for jeres prøve af henholdsvis gabbro og granit.
3. Liquid density – her skal I angive densiteten af den prøve, der er af kappesammensætning (dunit/peridotit/eklogit).

Prøv først at undersøge hvad der sker, når I ændrer på de forskellige parametre. Giv fx ’block density’ en højere densitet end ’liquid density’ eller en meget lavere densitet. Notér jeres observationer.

I skal nu simulere følgende tre scenarier:

* *Scenarie 1; kontinent ved Danmark.* Indstil parametrene, så I bruger densiteten af jeres granit som ’block density’ og indstil ’block height’ til 30 km – det er omtrent sådan forholdene er ved Danmark. Hvor meget af blokken (kontinentalpladen) stikker op af kappen (liquid)? Hvor mange procent er det?
* *Scenarie 2; kontinent ved bjergkæde.* Nu skal I forestille jer, at denne plade indgår i en bjergkædefoldning. Pladen vil altså fortykkes og nå en tykkelse på 70 km. Indstil ’block height’ til 70 km, og se hvad der sker. Hvor meget af kontinentet stikker op af kappen nu? Hvor mange procent er det?
* *Scenarie 3; oceanbundsplade.* Til sidst skal I lave scenariet for en oceanbundsplade, som er 5-10 km tyk (I vælger selv en tykkelse). Her skal I bruge densiteten af jeres gabbro som ’block density’, mens ’liquid density’ stadig er densiteten af jeres kappebjergart. Hvor mange procent stikker op af denne?

Spørgsmål til diskussion:

1. Havet er gennemsnitligt 3.700 m dybt. I hvilke af jeres tre scenarier stikker lithosfærepladerne op over havets overflade?
2. Hvor mange meter over havets overflade er der til toppen af bjergene i scenarie 2? Passer det med højden af verdens højeste bjerge? Hvis ikke, kan I så finde en fejlkilde i forsøget, der kan forklare denne forskel?
3. Hvorfor er det oceanbundspladen der subduceres, når en oceanbundsplade og en kontinentalplade presses mod hinanden?
4. Når en oceanbundsplade subduceres er den gammel og er blevet gennemkold; kappen er til gengæld varm. Hvordan kan temperaturen hjælpe med til at forklare, at oceanbundspladen kan subduceres, selvom jeres prøve fra oceanbunden har lavere densitet end prøven fra kappen?
5. Hvad sker der, når overfladen af kontinentalskorpen efterhånden eroderes og kontinentalpladen dermed bliver tyndere? Prøv det i programmet ved gradvist at lave ’block height’ mindre og mindre? Hvor mange procent af kontinenterne vil ifølge jeres beregninger stikke op over kappen?
6. Hvordan kan vi få geologiske formationer, som er dannet dybt nede i jordskorpen (fx metamorfe bjergarter) til at være eksponeret på jordoverfladen?
7. Hvorfor er den ældste alder for oceanbunden kun ca. 250 mio. år gammel, når der findes 3,8 mia. år gammel kontinentalskorpe?

## Bjergarter og deres geologiske miljøer

*Formål*

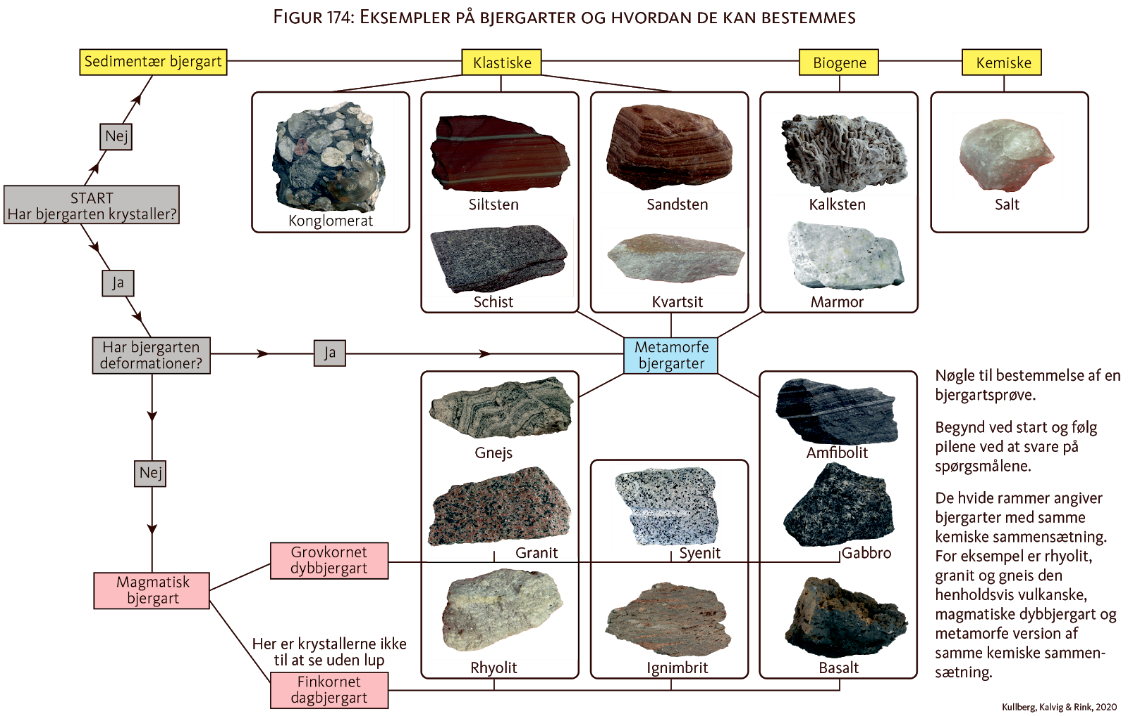
At koble forskellige bjergarter til geologiske miljøer i det geologiske kredsløb.

*Opgave*

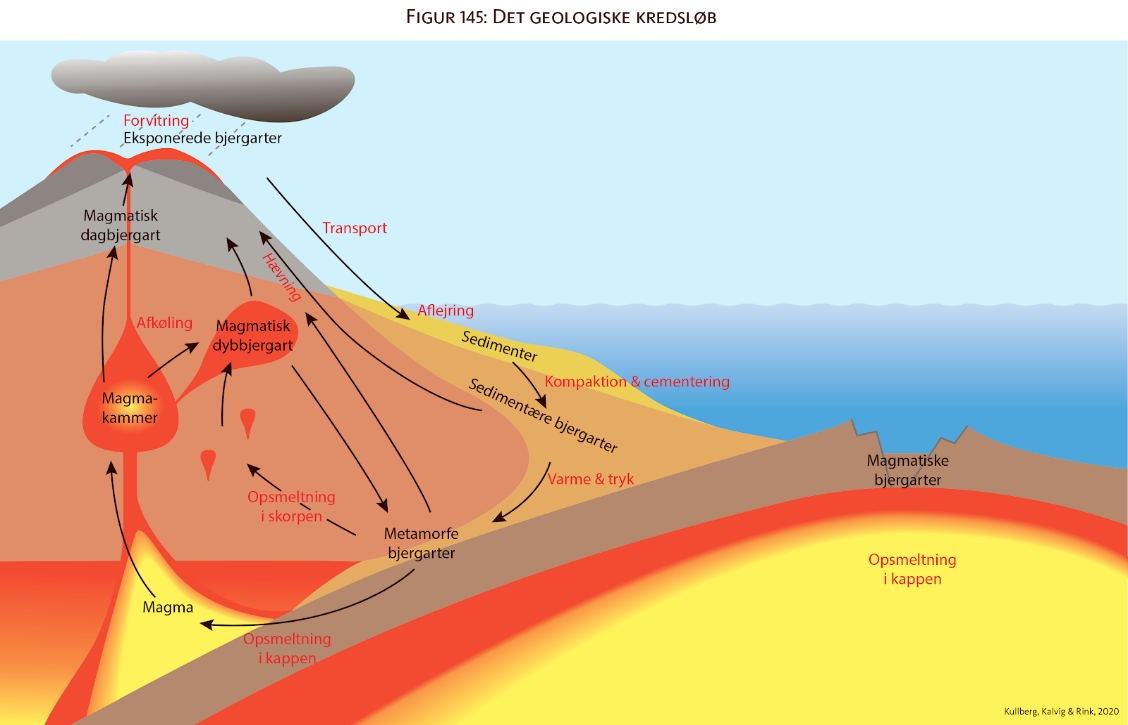
Brug en række bjergarter fra skolen stensamling, der skal helst indgå:

* Vulkansk bjergart
* Magmatisk dybbjergart
* Metamorfoseret sedimentær bjergart
* Metamorfoseret magmatisk bjergart
* Klastisk sedimentær bjergart
* Organisk sedimentær bjergart
* Kemisk sedimentær bjergart

1. Bestem bjergarterne ved hjælp af bjergartsnøglen (Figur 174 *Eksempler på bjergarter og hvordan de kan bestemmes*).
2. Beskriv de processer der er indgået i dannelsen af hver enkelt bjergart. Se eventuelt Figur 145 *Det geologiske kredsløb*.
3. Hvilke bjergarter er dannet som en følge af exogene processer, og hvilke er dannet ved hjælp af endogene processer?
4. I hvilke geologiske miljøer kan bjergarterne dannes? Brug et pladetektonisk kort og figurer i Kapitel 19 *Det geologiske kredsløb og isostasi*.



Figur 174. Nøgle til bjergartsbestemmelse. Eksempler på sedimentære, metamorfe og magmatiske bjergarter. Bjergarterne er inddelt i grupper med samme kemiske sammensætning. For eksempel er rhyolitten dagbjergarten, der svarer til dybbjergarten granit, som igen bliver en gnejs, hvis den undergår metamorfose; alle tre bjergarter har samme kemiske sammensætning, men forskellig dannelse og dermed udseende. På samme måde er den sedimentære kalksten grupperet med sin metamorfe udgave, marmoren. Af MiMa (2019).



Figur 145. Det geologiske kredsløb beskriver, hvordan jordens materialer indgår i en cyklus, hvor de exogene processer nedbryder faste bjergarter til løse sedimenter, som kan transporteres og aflejres, når de ikke længere udsættes for de kræfter, der kan transportere dem. Den største mængde sedimenter aflejres på den kontinentale shelf, altså den havdækkede del af kontinentet. Når sedimenterne ligger i de tykke sedimentlag, bliver de udsat for kompaktion og cementering og bliver til faste, sedimentære bjergarter.

Nede i Jordens skorpe og i kappen er det de endogene processer, der påvirker bjergarterne. Trykket og temperaturen øges nedefter i jordskorpen og fører til metamorfose af bjergarterne, dvs. at de omdannes til andre bjergarter med et andet mineralindhold.

I nogle tilfælde vil bjergarterne møde deres smeltepunkt og magma dannes. Når magmaet stiger opad, afkøles det og størkner som magmatiske bjergarter, enten som dybbjergarter nede i skorpen eller som dagbjergarter eller som vulkanske bjergarter, hvis de kommer i kontakt med det exogene miljø inden de størkner. Når bjergarterne kommer i kontakt med atmosfæren, enten ved udbrud eller ved hævning af jordskorpen ved isostatisk landhævning vil forvitring og erosion begynde at nedbryde bjergarterne, så kredsløbet fuldendes.

Af MiMa (2019).

## Øvelse med metamorfose

*Formål*

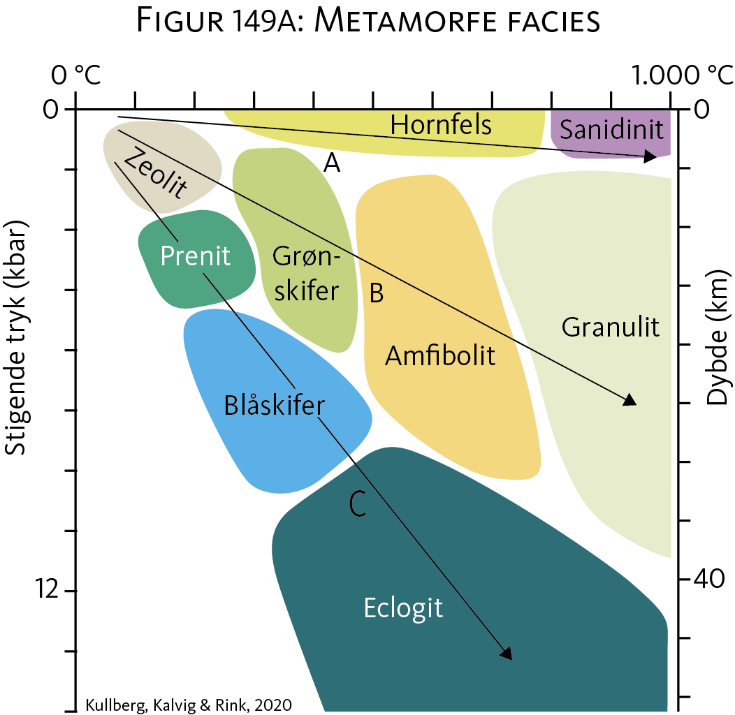
At observere de ændringer som bjergarter undergår, når de metamorfoseres, og forstå at samme udgangsmateriale kan se meget forskellige ud efter metamorfosen.

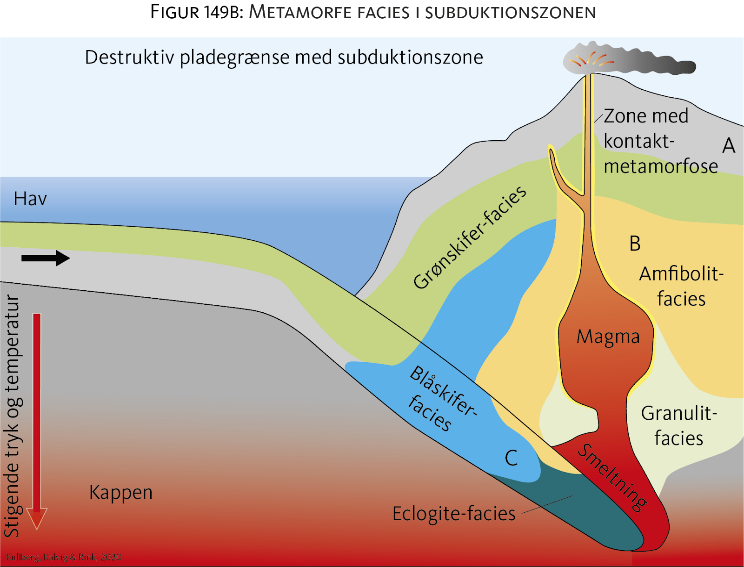
*Opgave*

Find følgende bjergarter i skolens stensamling:

* Fyllit
* Gnejs
* Schist
* Slate

1. Læg bjergarterne i rækkefølge i forhold til deres stigende påvirkning af tryk og temperatur.
2. Beskriv bjergarternes strukturer og kornstørrelse.
3. Hvis en sandsten metamorfoseres, kan den omdannes til en schist. Hvilke forskelle vil du kunne se med det blotte øje? Vil de to bjergarters kemiske sammensætning ændres?
4. Vurdér ved hjælp af Figur 149A og 149B *Metamorfe facies i subduktionszonen* i hvilke geologiske miljøer disse bjergarter kan være dannet.
5. De kan alle være dannet ud fra samme bjergart, hvilken?





Figur 149A og B. Metamorfe facies. Facies betyder en sammensætning af mineraler, som er typisk for en given bjergart. Til venstre viser diagrammet hvilke metamorfe bjergarter, der er stabile ved hvilke tryk- og temperaturforhold. Til højre kan de samme bjergarter findes i de geologiske miljøer, hvori de dannes. På fasediagrammet er der tre pile, som viser stigende grad af metamorfose i tre forskellige miljøer.

A. Viser hvilke mineralsammensætninger der dannes ved kontaktmetamorfose ved forskellige temperaturer. Kontaktmetamorfose forekommer i bjergarterne omkring et magmalegeme, hvor temperaturpåvirkningen bager de omkringliggende bjergarter. Her er trykket ikke særligt forhøjet.

B. Viser hvilke mineralsammensætninger der er stabile ved de tryk- og temperaturforhold, man kan finde i såkaldt regional metamorfose. Her følger temperatur- og trykforholdene den almindelige gradient for Jordens skorpe. Denne type metamorfose vil typisk ses i bjergkædefoldninger.

C. Viser mineralsammensætninger der er stabile ved de tryk- og temperaturforhold, man ser i en subduktionszone. Her vil trykket stige hurtigere end temperaturen. Når den kolde oceanbund subduceres ned i kappen, vil det tage lang tid for bjergarterne i oceanbunden at komme i temperaturmæssig ligevægt med den omgivende kappe. Af samme grund kan bjergarterne nå ganske store dybder med meget højt tryk inden de smelter. Derfor følger denne pil en udvikling med lavere temperatur og højere tryk end regional metamorfose.

Af MiMa (2019) efter Marshak (2011).

## Referencer

Marshak, S. (2011). Earth: Portrait of a Planet: Fourth International Student Edition. Norton.