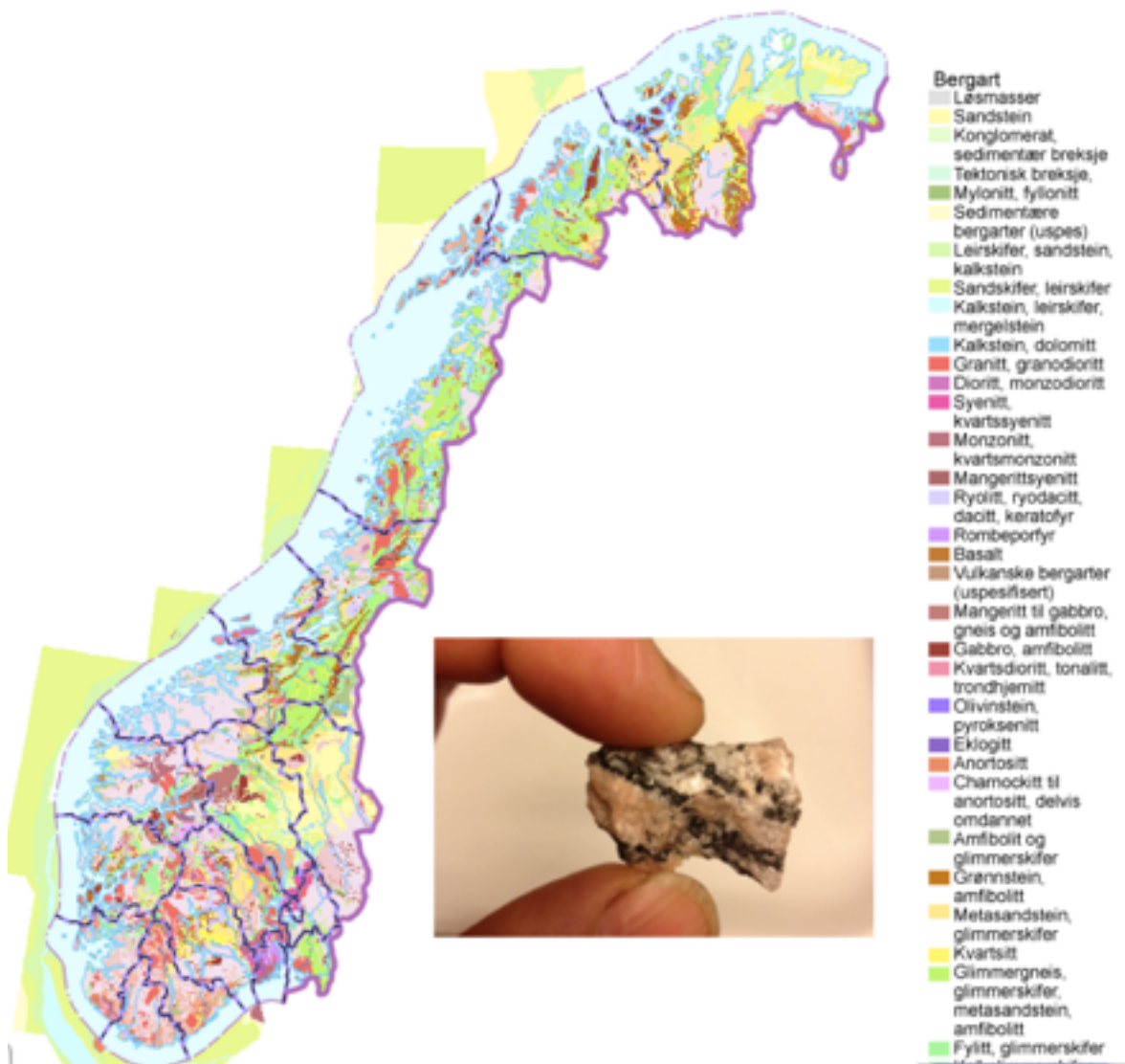


BergArter

Norges geologisk arts mangfold

Allan Krill

Professor i geologi ved NTNU i Trondheim



12. juli 2016. Manuskript er under arbeid. (kontakt: krill@ntnu.no)

BergArter. Norges geologisk arts mangfold

1 Bergarter er levende på sine uorganiske måter

2 Jordklodens anatomisk inndeling i skorpe, mantel, og kjerne

3 Geologiske tidsskala: hvorfor og hvordan den læres

4 Istidsprosesser som formet Norges nåværende landskap (kvartær tid)

5 Kom i gang med å bruke NGU.no sine digitaliserte løsmassekart

6 Mineraler og magmatiske bergarter i mantelen og skorpen

7 Åpning av Atlanterhavet og platetektoniske prosesser som ligger under (kenozoisk tid)
 Jordskjelv og seismiske bølger
 Avsetning av havbunnsedimenter

8 Sedimentære bergarter og avsetningsmiljøer som bidro til kontinentalsokkelen (mesozoisk tid)

Prinsipper om lagdeling og stratigrafi

Den mesozoisk tidsskala: hvordan håndtere en lang rekke med vanskelige navn

kull fra tropiske sumper og jungler (karbon tid)

salt og fordampningsbergarter (perm tid)

sandsteiner fra ørken sanddyner (trias tid)

sandsteiner fra forgrenete elver (trias tid)

sandsteiner og slamsteiner fra meanderende elver og flomsletter

sandsteiner og slamsteiner fra marin delta (jura tid)

petroleum fra organismer i marin slamstein (jura tid)

kalkstein og oppløsning av den (kritt tid)

8 Sprø og myk deformasjon av bergarter i skorpen

Ekstensjon: sprekker, ganger, normalforkastninger, manglende strata

Kompresjon: reversforkastninger, repetert strata

Skjær: knusing, kornstørrelsesreduksjon, forkastningsbreksje og mylonitt

Boudinage pga ulik lagstyrke eller flytt under myk kompresjon

Foldning pga ulik lagstyrke eller flytt under myk ekstensjon

9 Bergarter og deformasjon i Osloriften (karbon-perm tid)

Tektoniske utvikling og stratigrafi: Røde sandsteiner og tallrike lavastrømmer, riftganger, ekstensjonsforkastninger, kalderaer, plutoner, tilhørende kontaktmetamorfose.

10 Metamorfe mineraler og bergarter langt nede i skorpen

Vekst og glidning av orienterte mineraler danner foliasjon, glimmerskifer, og gneis

11 Den kaledonske fjellkjedens dannelse og kollaps (sen prekambrium – devon tid)

Senprekambrisk sandsteiner og snøballjord,

Diabasganger i sandsteiner, kontinentalrifting, Seilandprovinsen

Iapetus miniskorpe. Leka, Trondheim, Karmøy, og andre ofiolitter

Kambrosilur stratigrafi og fossiler i Oslofeltet

Kontinentkollisjon med skyvning, foldning, regionalmetamorfose.

Devonsk fjellkjedekollaps med nedglidning av plante-førende sandsteiner og oppstigning av diamant-førende bergarter

12 Grunnfjell i Norden
Arkeiske, Svekofenniske, Svekonorvegiske fjellkjeder

13 Geologiske felter og områder i Norge. Kom i gang med NGU.no sine digitaliserte berggrunnskart

Oslofeltet
Larvikitt og Langesundsfjord
Leka-ofiolitten
Karmøy-ofiolitten (Stavanger, med ultramafitt)
Trondheimsfeltet (Bymarka ofiolitt, trondhemitt, synklinal(?))
Bergensbuene
Jotundekket
Hårteigen og Hardangervidda

Sparagmittområdet (Østerdalen-Rondane-Gudbrandsdalen) østlige og vestlige deler, ligger skjøvet over kambrosilur. ligger under Jotunheimen og under Trondheimsfeltet.
Varangerhalvøya (sparagmittområder østlige og vestlige deler, ligger skjøvet over kambrosilur Dividal.)

Trollheimen og Dovrefjell
Den vestlige gneisregionen
Nordfjord-Sogn devonbassengene

Grong-Olden kulminasjonen
Tømmerås antiformalen
Nordland og Troms (marmorert og granitter over grunnfjellsvinduer)
Grunnfjellsvinduer i midt Norge

Finnmarksvidda
Sør-Varanger
Alta-Kvænangsvindu
Repparfjordvindu
Magerøya og Nordkapp
Kalakdekkene og Seilandkomplekset
Lyngenalpene

Telemarksuprakrustalene
Gardnosbreksjen
Fensfeltet
Kongsbergfeltet
Bamble
Egersundfeltet
Trysilbergartene

Østfold

Lofoten
Ramsåfelt på Andøya
Beitstadsfjord

Appendiks:

Liste over mineraler og bergarter

bruk begrep bollesandstein for å introdusere konglomerat
bollesandstein, bollekonglomerat, konglomerat

1 Bergarter er levende på sine uorganiske måter

Ta en hammer og slå av et stykke stein fra fast fjell, hvor som helst i Norge. Uansett hvilken stein du tar, er den flere hundre millioner år gammel. Den har levd et langt liv, som går nå mot slutten. Steinenes liv er uorganisk, og er så svakt og går så sakte at folk ikke betrakter stein som levende. Folk vanligvis ikke bruker ordet "liv" for uorganiske ting. Men i denne boken skal du bli kjent med noen av de uorganiske måter som steiner lever og hvordan de har bygget opp Norges geologi.



Både fingrene og steinen er levende. Begge blir døde om noen år.

Ta nå steinen som du har slått av. På hvilke måter er den levende?

Man kan si at den ble født. Hvis steinen er en granitt, ble den født ved å størkne eller fryse fra en steinsmelte. Geologer har måter å bestemme når den ble født, og hvor gammel den er. Man kan forstå dette best ved å sammenligne steinen med en kjeledyr.

Hvis du har en kanin som kjeledyr, vet du at den produserer lort nesten hele tiden. Det gjør også steinen. Det er mange radioaktive atomer i steinen, og de lager nye atomer hele tiden. De nye atomene kan tilsvare kaninlort. Hvis kaninens bur hadde aldri blitt vasket, kunne man bestemme kaninens alder ved å telle lortkullene. Det er slik man bestemmer en steins alder. Hvis steinen har holdt seg lukket hele tiden, og lortatomer har ikke gått ut, er det mulig å telle de nylagete atomene for å finne ut hvor gammel steinen egentlig er.

Nesten alle stein i Norge er eldre enn 250 millioner år. En av de eldste steinene i Norge er en granitt i Troms som er blitt datert til 2689 millioner år, med en usikkerhet på pluss eller minus 6 millioner år. Hvis dette var en person som er 26,89 år gammel, vil en tilsvarende nøyaktighet være å bestemme personens alder til å være 26 år og 325 dager, pluss eller minus 22 dager. Merkelig nok, er det ingen teknisk måte å datere en person eller en kanin med en slik nøyaktighet.

Det er andre måter at steinen lever. Den lager sin egen varme (igjen på grunn av radioaktivitet), selv om du ikke merker varmen mens du holder den. I løpet av sitt liv, har en granitt på samme størrelse som en persons finger gitt av omtrent like mye varme som fingeren har gitt av i løpet av sitt liv.

Det merkes ikke på Jordens overflate at stein gir fra seg varme. Det er fordi varmen kommer seg vekk. Men under den isolerende bakken, som under en isolerende dundyne på en menneskes seng, merkes varmen godt. Jorden er varmere nede i undergrunnen, og blir ca. 25 grader varmere for hver kilometer ned.

Det er en selvfølge at levende ting merker forskjell mellom sommer og vinter i Norge. Steinen også merker forskjellen. Den utvides litt når det er varmt om sommeren, og krymper litt når det er kaldt om vinteren. Det er fordi steinen består av atomer som vibrerer litt mer når de er varme, og vibrasjonen gjør at atomene tar litt mer plass. Dette kan sammenlignes med en gruppe med mennesker som står tett sammen: gruppen vil også utvide seg litt, hvis de begynner å riste og bevege seg mer.

Dyr og planter merker når det er andre dyr og planter i nærheten. Kanskje de trives og blir tiltrukket, eller kanskje omvendt. En stein tiltrekkes av en annen stein som er nær seg. Dette er på grunn av gravitasjonskraft. Alle ting som har vekt eller masse, tiltrekkes av andre ting. Tiltrekningen er veldig svak for små stein, men kan måles av et følsomt geologisk instrument, som kalles for en gravitometer. Dette brukes for eksempel i letting etter malm- eller oljeforekomster, som har mer eller mindre masser som vanlige bergarter.

De fleste stein har også litt magnetisme. En magnetisk stein vil derfor oppleve litt tiltrekning mot en annen stein, eller vil avvise den, avhengig av hvordan magnetismen er orientert. Stein er ikke så magnetiske at de faktisk beveger seg mot hverandre, men tiltrekningen er nok til at den kan måles med en magnetometer. Geologer har flere metoder å undersøke og bruke en steins magnetisme.

En tilfeldig stein som vi plukker opp og holder, er født for lenge siden, og lever nå, men snart vil dø. Når levende ting som fingrer eller stein dør, går atomene fra hverandre, og blander seg med andre atomer. Når vi kaster steinen ut i naturen, vil vann angripe den, og den vil forvitres. Steinen består av mineralkorn som vil løsne fra hverandre og smuldre opp. Den blir til løse sandkorn, leirepartikler, og oppløste atomer. Da er steinen død. Dette vil skje i løpet av noen tusen år, som er kort tid for en stein. Etter et liv på mange hundre millioner år, har en liten stein bare noen tusen år igjen å leve.

Steinen vil sikkert dø, men andre stein vil fødes. Etter steinens død vil dens sandkorn, leireflak, og oppløste atomer bevege seg videre. Regnvann og gravitasjon vil frakte dem ned til en bekk. Bekkevann vil transportere dem videre ned til en elv. Elvevann vil ta dem videre ut til havet. Under havbunnen blir nye sandsteiner og slamsteiner født, ved at sand og leireflak sementeres av de oppløste atomene.

Når døde stein fjernes fra landet, er det andre stein, som ligger dypere, som kommer til synet. Landet stiger for å holde omtrent samme høydenivå.

Disse var bare noen av mange grunner for å mene at stein er levende. Deres liv foregår så sakte og over et så langt tidsrom, at det knapt kan måles. Men geologenes måleinstrumenter blir stadig bedre. Om vi skal bruke ordet "liv" eller ikke kan diskuteres. Men alle som kjenner steiner og deres prosesser er enige om at de er svært interessant når vi blir kjent med dem.

Nå bør vi ikke lenger kalle dem for stein. Geologer kaller dem for bergarter. Det er et godt norsk begrep som minner om begrepene dyrearter og plantearter. Folk som er glad i naturen kjenner mange fuglearter, fiskearter, plantearter, og sopparter. Men de fleste folk kjenner

veldig få bergarter. Etter du har kommet gjennom denne boken, og pugget det som skal huskes, vil du ha langt mer kunnskap om bergarter og geologi enn de fleste folk du kjenner.

Egenoppgave: Diskuter din definisjon av hva som er levende og ikke levende. Vil et vesen som besøker Jorden fra en annen planet mene at en vulkan i utbrudd er levende, at en stri elv er levende, at eneboliger er levende, at biler på motorveien er levende?

Egenoppgave: Den dypeste borehull i Barentshavet går 5,6 km ned. Hvis den geotermalgradienten er ca. 25 grader per km, omtrent hvor varmt er oljen som evt. pumpes opp fra denne dybden?

Egenoppgave: Den dypeste graven i Norge er i Malm, vest for Steinkjer. Bergarter der blir bare 17 grader varmere for hver kilometer nedover (ikke 25 km. varmere som er gjennomsnittet), og graven går 1,2 km. ned. Hvor varmt er det nede i graven, hvis middeltemperaturen på overflaten er 5 grader? Tror du at bergarter og gruvearbeider der nede opplever forskjell mellom sommer og vinter?

Fagbegrep å notere seg (scientific terms for internet searches)

arter (species)

atom (atom)

bergart (rock)

borehull (drill hole)

forvitte (weather)

geotermalgradient (geothermal gradient)

granitt (granite)

gravitasjonskraft (gravity)

gravitometer (gravitometer)

gruve (mine)

leirepartikkel (clay particle)

Jorden (Earth)

magnetisme (magnetism)

magnetometer (magnetometer)

malmforekomst (ore deposit)

mineral (mineral)

mineralkorn (mineral grain)

oljeforekomst (oil deposit)

oppløst (dissolved)

organisk (organic)

radioaktive (radioactive)

sandstein (sandstone)

sementeres (cements)

slamstein (mudstone)

uorganisk (uorganic)

vulkan (volcano)

2 Jordklodens anatomisk inndeling i skorpe, mantel, og kjerne

Før vi ser nærmere på hva Norges bergarter har opplevd, må vi ha litt oversikt over Jordens indre inndeling. Jordkloden er delt inn i tre lag: *skorpen*, *mantelen*, og *kjernen*. Lagdelingen minner litt om en avokado. Den tynne skorpen er ytterst. Mantelen er mykere, og kjernen består av et helt annet stoff.



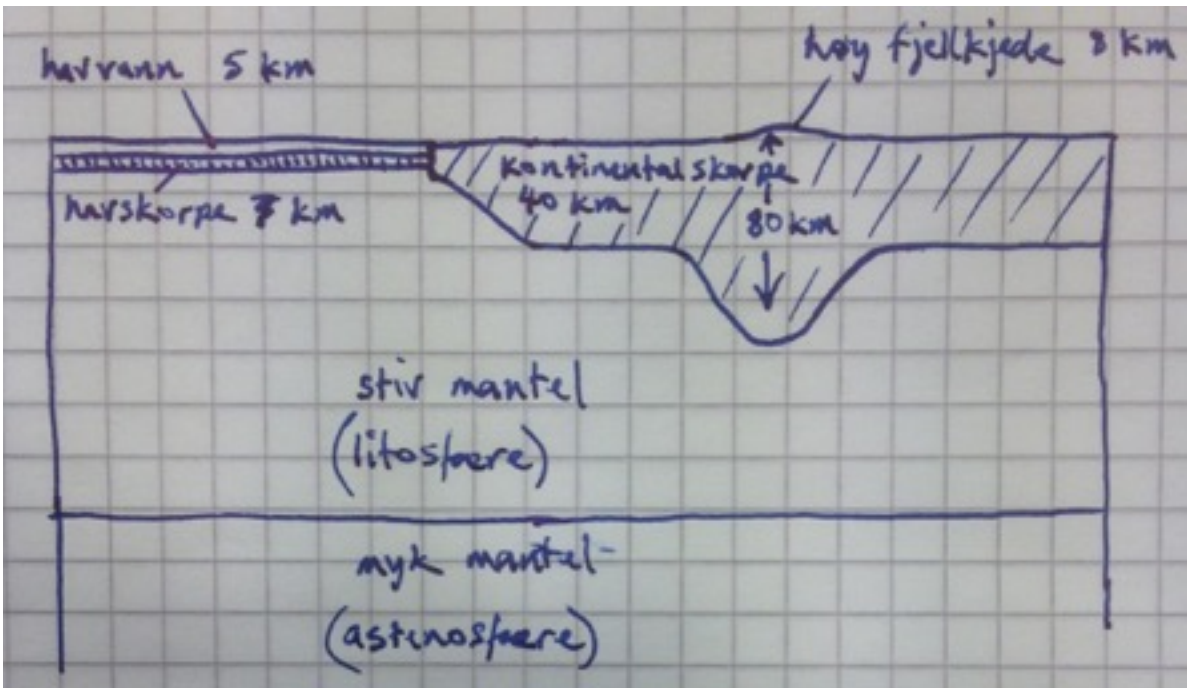
På jordkloden er det to skorpetyper, som vi kan betegne *miniskorpe* og *blandeskorpe*. *Miniskorpen* er enkelt: den er ca. 7 kilometer tykk og består bare av mørke bergarter. *Blandeskorpen* varierer fra ca. 20 km til ca. 70 km tykk, og bergartene er en blanding av alle mulige typer, fra veldig mørke til veldig lyse. Jordklodens blandeskorpe er ca. 35 km tykk de fleste steder, eller ca. 5 ganger så tykk som miniskorpen.

Mantelen er myk som avokadoen, og gir etter for press. Den er også tyngre enn skorpen, så den holder seg alltid nede. Den lette skorpen ligger og flyter oppe på mantelen.

Tenk nå på båter eller treplanker som flyter på vann. En tykk planke vil ligge dypere nede i vannet enn en tynn planke, men toppen vil ligge noe høyere. Slik er det med skorpen. Blandeskorpe er tykk, og dens overflate ligger høyt på Jordens overflate. Miniskorpen er tynn og dens overflate ligger lavere. Vann ligger over de laveste stedene på jordkloden. Det er tilfeldigvis akkurat nok havvann på jordkloden til å dekke all miniskorpe. Derfor heter miniskorpen vanligvis for *havskorpen*. Men jeg foretrekker begrepet miniskorpen, fordi havskorpen har ingenting med havet å gjøre.

Treplanker som er tykkere vil flyte høyere. Vanlig blandeskorpe er ca. 35 km tykk, og dens overflate ligger ca. 5 km høyere enn miniskorpe. Dette er litt over nivået som havet ligger, og alle kontinenter i verden og de aller fleste øyer består av blandeskorpen. Derfor heter blandeskorpen vanligvis for *kontinentalskorpen*. Der blandeskorpen er noe tynnere enn 35 km, for eksempel i nærheten av miniskorpen, ligger dens overflate under havnivået. Et slikt oversvømte område kalles for *kontinentalsokkel*.

I områder der blandeskorpen er enda tykkere, synker den enda dypere nede i mantelen, mens overflaten står enda høyere opp i luften. Dette er igjen som en treplanke som flytter på vann. Tykk blandeskorpe utgjør fjellkjeder. Den tykkeste blandeskorpen på jordkloden i dag er ved Himalaya fjellkjeden. Blandeskorpen der er ca. 70 km tykk, omtrent dobbel så tykk som vanlig blandeskorpe. Everest er nesten 9 km over havnivået, og holdes oppe av den tykke skorpen som flyter på mantelen.



(Tilføy litosfære / astenosfære i høyre margin)
 skorpe 35 km, erstatt høy fjellkjede med "Alpene." 55-60 km, Mont Blanc 4800m

Hawaii og Island har miniskorpe som er omtrent dobbel så tykk som den vanlige miniskorpe. Tykkelsen er ca. 14 km i stedet for 7 km. Derfor står skorpen oppe som øyer på disse stedene.

Eksempler på blandeskorpe er Svalbard, Barentshavet, Norge, og Nordsjøen. Faktisk hele Europa er blandeskorpe, inklusiv Østersjøen mellom Norge og Danmark og Bottenviken mellom Sverige og Finland.

Miniskorpe ligger under det dype Atlanterhavet. Skorpen under Middelhavet er miniskorpe noen få steder, mens det er blandeskorpe under det meste av Middelhavet.



(Erstatt med tegning)

Geologer bruker begrepene *havskorpen* for miniskorpen, og *kontinentalskorpen* for blandeskorpen. Disse begrepene gir litt feil inntrykk, fordi det er ingen direkte sammenheng mellom havet og "havskorpen". Og blandeskorpen er en tykk blanding av mange bergarter, inklusiv bergarter som tidligere var miniskorpen. I denne boken bruker vi oftest begrepene miniskorpen og blandeskorpen, mens andre bøker bruker begrepene havskorpe og kontinentalskorpe.

Skorpen er stive bergarter, og den øverste 100 km av mantelen er omtrent like stiv som skorpen. Både de stive mantelbergartene og den stive skorpen utgjør en enhet som kalles for *litosfæren*. "Lit" betyr stein (som i ordene "monolitt" og "litografi") og litosfæren da betyr steinsfæren, som er ytterst på jordkloden. Fargeendringen under skorpen i avokado minner oss om at mantelen er noe annerledes mot toppen.

Mantelen er flere tusen kilometer tykk. Den går omtrent halvveis til jordklodens midtpunkt. Det er en skarp grense til *kjernen*. Kjernen er ikke vanlige bergarter, men er metall, mest jern og nikkel. Kjernen er solid metall innerst og smeltet metall utpå. Årsaken til at det er solid innerst er fordi det er mer trykk der. Trykk fra alt som ligger over, holder atomene fast på plass. Forskjellen mellom *væske* og *solid* er at atomene i solide materialer holdes fast.

Det er vanligvis ingen smelte i skorpen og mantelen. Men mantelen under litosfæren inneholder ca. 1% smelte. Det er bare nok smelte til å fukte alle mineralkornene, som gjør denne delen av mantelen ekstra smidig. Sonen kalles for *astenosfæren*, som betyr svaksfæren. Det er litt smelte der fordi temperaturen er høyt nok og trykket er lavt nok for at det forekommer.

Større mengder smelte kan forekomme lokalt noen steder i mantelen eller i skorpen. Riktig store mengder med smelte kalles for *magma*. Det er over disse magmaområder at det forekommer vulkaner. Eksempler på dette er Island og Jan Mayen.

Energi fra radioaktivitet i mantelen i kombinasjon med tyngdekraften gjør at mantelbergarter kan bevege seg enorme avstander, både vertikalt og horisontalt. Bevegelsen av litosfæren over den smidige mantelen gjør at den sprekker opp i *plater* som beveger seg over jordkloden. Denne prosessen kalles for *platetektonikk*.

Egenoppgave: Du kan finne gode tegninger av jordklodens inndeling på internett med å bruke disse tre ord i samme søk: "mantel kjerne skorpe." Lag din egen tegning og indiker tykkelsene.

Egenoppgave: Geologer bruker modeller for å forstå ting bedre. Ingen geologisk modell er perfekt. Diskuter fordeler og ulemper med disse modellene for jordkloden: en avokado, et hardkokt egg, et kokt egg med delvis bløtt plomme (bedre modell for kjernen?), et eple (bedre modell for skorpen?).

Egenoppgave: Mantelen er ca. 30 ganger tykkere enn litosfæren og 100 ganger tykkere enn jordskorpen. Mål tykkelsen på eggeskallet, eller prøv å stable 10 eggeskallbiter oppe på hverandre for å vurdere om modelltykkelsen er omtrent riktig.

Fagbegrep å notere seg (scientific terms for internet searches)
astenosfæren (asthenosphere)

blandeskorpen / kontinentalskorpen (continental crust)

kjernen (core)

jordkloden (planet Earth)

kontinentalsokkelen (continental crust)

litosfæren (lithosphere)

mantelen (mantle)

magma (magma)

miniskorpen / havskorpe (oceanic crust)

plate (lithospheric plate)

platetektonikk (plate tectonics)

radioaktivitet (radioactivity)

skorpen (crust)

solid (solid)

temperatur (temperature)

trykk (pressure)

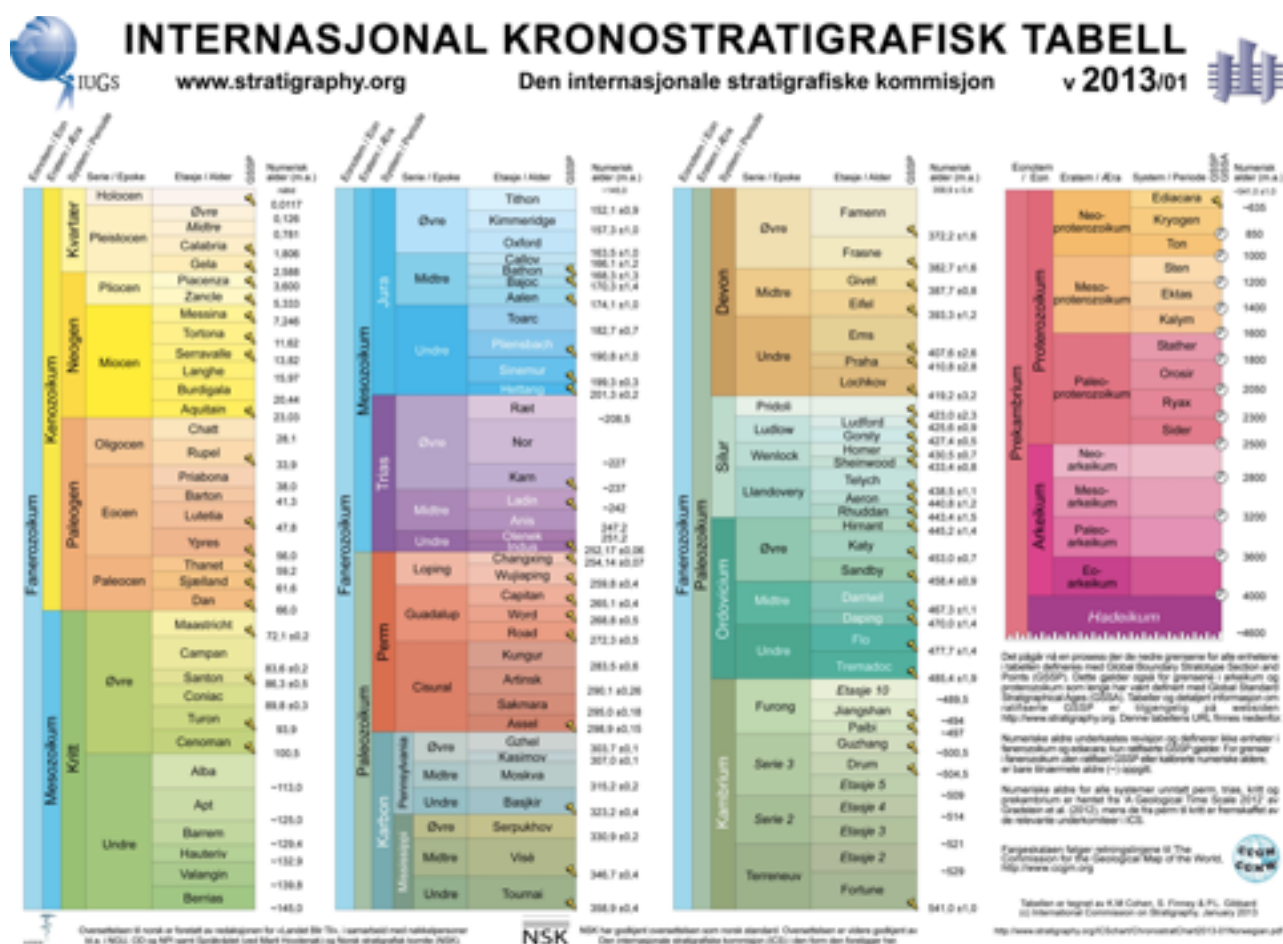
væske (fluid)

3 Geologisk tidsskala: hvorfor og hvordan den læres

Geologer må bruke en tidsskala for å holde oversikt over geologiske hendelser.

Tid og rekkefølge på hendelser er viktig hvis man skal forstå hva som har hendt eller hva som skal hende i fremtiden. Alle skolebarn må lære tidsskalaen for de 7 dagene i uken og tidsskalaen for de 12 månedene i året. Da trenger de ikke å se på en tabell når de snakker om tid. De kan forstå, for eksempel, at høstferien kommer i oktober og ikke i mai. De kan forstå at hvis kommende fredag er skolefri, er fredag-søndag en langhelg. Et barn som ikke har lært disse tidsskalaene, vil had det vanskelig å følge med i fortellinger og diskusjoner. Det samme gjelder i geologi. For å forstå geologiske hendelser, bør du lære den geologisk tidsskalaen.

Her er den detaljerte geologiske tidsskalaen. Geologer utvikler og justerer den med jevn mellomrom, og oppdaterte utgaver av tidsskalaen legges ut på internett.



Heldigvis er de fleste navnene og tallene ikke nødvendig til hverdags geologisk bruk. Navnene som er viktig er ført opp i tabellen under, med yngst på toppen (antropocen) og eldst på bunnen (arkeikum.) Dessverre, virker også disse viktige navnene ganske fremmed og uoverkommelig ved første blick. Det blir noe bedre når man ser meningene og hensiktene med dem. Her skal navnene beskrives litt, med noe hjelpemidler til pugging av de nødvendige rekkefølgene. Du kan se etter begrepene i tabellen når de dukker opp i teksten.

Viktige navn og rekkefølger i den geologiske tidsskalaen, som geologer pugger.

		<i>Antropocen</i> (menneskes innflytelse blir betydelig)
		<i>Holocen</i>
	<i>Kvartær</i>	<i>Pleistocen</i> (slutter med isbresmelting for 10 000 år siden)
		<i>Neogen</i>
<i>Kenozoikum (Tertiær)</i>		<i>Paleogen</i>
		<i>Kritt</i> (avsluttes med masseutryddelse for 66 millioner år siden)
		<i>Jura</i>
<i>Mesozoikum</i>		<i>Trias</i>
		<i>Perm</i> (avsluttes med masseutryddelse for 252 millioner år siden)
		<i>Karbon</i>
		<i>Devon</i>
		<i>Silur</i>
		<i>Ordovicium</i>
<i>Fanerozoikum</i>	<i>Paleozoikum</i>	<i>Kambrium</i> (starter med synlige fossiler for 541 millioner år siden)
<i>Proterozoikum</i>		<i>Prekambrium</i> (<i>Senprekambrium</i> er siste delen)
<i>Arkeikum</i>		

Geologene som fant opp den geologisk tidsskalaen for to hundre år siden brukte hovedsakelig dyreforandring gjennom tid, eller *evolusjon*. Et gresk ord for dyr er zoi. (Ordet *zoo* for dyrepark kommer også herfra.) Da finner man "zoikum" i fem av de viktige ordene. Den viktigste inndeling i tidsskalaen er grensen mellom *proterozoikum* og *fanerozoikum*. (Den samme grensen heter også *kambrium/prekambrium* grensen, som skal også forklares nedenfor.)

I *proterozoikum* var det en slags prototyp av dyr. Ingen av disse tidlige dyrene hadde skjell eller bein eller andre harde kroppsdeler. De myke delene av dyr, som muskler og hud, nesten alltid råtner bort og blir ikke bevart som *fossiler*. Derfor er det veldig få fossiler i verden fra *proterozoikum*. Noen få *proterozoiske* fossiler finnes, som f.eks. *stromatolitt*, en slags alge eller tang som vises i en kalkstein i Alta. Den er blant Norges eldste fossiler.

(Tegning av Alta stromatolitt)

I dyrenes utvikling ble det plutselig mange dyr som begynte å lage harde deler som skjell. Harde deler var en ny mote i dyreverden, og ganske gunstig for muskelfeste og for kroppsbeskyttelse. Plutselig ble det da mange fossiler bevart fra denne tiden, og geologene som laget tidsskalaen brukte dette som begynnelsen av tidsrommet *fanerozoikum*. Ordet "fane" betyr "synlig" på gresk. (Et 17. mai fane er synlig, og har samme gresk opphav.) I *fanerozoikum* er de mange synlige zoi, eller dyrefossiler. Etter skjell, ble bein og tenner også utviklet.

Fanerozoikum er delt inn i tre store tidsrom: *paleozoikum* (betyr "gammel zoi"), *mesozoikum* (betyr "mellom zoi") og *kenozoikum* (betyr "ny zoi".) *Mesozoikum* er kjent for dinosaurer.

Da har vi dette:

Fanerozoikum tiden med synlige fossiler.

Proterozoikum tiden med bare prototyper med dyr, uten synlige fossiler.

Og *fanerozoikum* deles inn i *kenozoikum* (etter dinosaurer), *mesozoikum* (dinosaurer),

paleozoikum (før dinosaurer.)

Disse fem navn bør du finne i tabellen ovenfor, og du bør pugge dem nå, før du leser videre. Hvis du pugger ting underveis, når du først har lært dem og forstår dem, blir det overkommelig.

Ca. halvparten av bergartene på fastlands Norge er fra paleozoikum, og derfor er dens inndeling verdt å kjenne. Periodene heter: *kambrium*, *ordovicium*, *silur*, *devon*, *karbon*, og *perm*. For å pugge denne rekkefølgen er det en hukommelsesregel: "KOS med Djevelen, spis Karbonade på Permisjon." En kortversjon er "KOS DoKk Peh!" eller "KOS DK P". Finn disse navn i tabellen, og se om du kan pugge disse navnene nå, før du leser videre.

Som sagt, ble det plutselig synlige fossiler i begynnelsen av fanerozoikum, det vil si, i begynnelsen av kambrium. Så mange typer fossiler kom så plutselig at det ofte kalles for *den kambriske eksplosjonen*. Denne eksplosjonen varte kanskje ti millioner år, men dette er eksplosivt fort i forhold til tidsskalaen. Kambriums begynnelse er datert til ca. 541 millioner år siden. Tiden før *kambrium*, uten synlige fossiler, kalles for *prekambrium*. Det er denne grensen mellom kambrium (fanerozoikum) og prekambrium (proterozoikum) som er så viktig.

Noen av de mest kjente fossilene fra paleozoikum var *trilobitter*. De levde i havene, og det utviklet seg mange tusen forskjellige arter, helt fra kambrisk tid til permisk tid. De fleste arter ble ikke større enn noen få centimeter, men de største trilobittene ble ca. en halv meter stor.

(Tegning av trilobitt)

En katastrofal *utslettelse* endte paleozoikum. De aller fleste dyregrupper døde ut, inklusiv trilobittene. Geologer vet ikke enda hva som var årsaken til denne utslettelsen, eller hvor plutselig den var. Kanskje dyrene døde ut over noen hundre tusener av år, eller kanskje over noen få år. Men etter paleozoikums utslettelse ble jordkloden etter hvert befolket med mange nye dyrearter, inklusiv dinosaurene. Det var starten på tidsrommet mesozoikum. Den varte lenge, fra 252 til 65,5 millioner år siden. Men mesozoikum også endte med en katastrofal utslettelse. Dinosaurene døde ut på landet, og i havet var det mange typer havdyr som døde ut, spesielt *ammonitt* blekkspruter.

(Tegning av ammonitt).

Nå vet geologer at den store utslettelsen som endte mesozoikum ble forårsaket av et stort *meteoritnedslag* i Mexico. Etterpå utviklet seg igjen nye dyrearter, inklusiv mange flere og større pattedyr. Dette ble starten på *kenozoikum*. Mesozoikum er en nøkkel til pugging av tidsskalaen. Se på tabellen. Mesozoikum er delt inn i tre perioder; trias, jura, og kritt. Disse er alle dinosaurenes sine tider. Og fanerozoikum er også delt inn i tre: tiden før mesozoikum (dinosaurer), som er paleozoikum, og tiden etter mesozoikum, som er kenozoikum.

Den første delen av kenozoikum er kalt for *tertiær* tiden, og den siste for *kvartærtiden*. *Kvartær* er preget av *istider* og *mellomistider*. Tiden med dem kalles for *pleistocen*, og tiden etter siste istid, det vil si vår nåværende tid, kalles *holocen*.

På gresk er *kaino* "ny" og *kainozoikum* ble til *kenozoikum*. På gresk er *pleisto* "mest" og *pleistocen* betyr "mest ny" (dyretyper.) *Holo* betyr "hel" og *holocen* betyr "helt ny" (dyretyper.) I vår tid kan alle dyretyper betraktes som "ny" i evolusjonsrekkefølgen.

Geologer ønsker å "lese bergarter" som vanlige folk leser en bok. Tenk på bøker på fremmedspråk. Hvis du kan spansk, kan du selv lese en spansk bok og fortelle andre hva boken gjelder. En geolog, med sine tekniske verktøy, kan lese bergarter, og fortelle hva de gjelder. Et mål med å lære geologi er at du selv skal lære å lese bergarter.

I en vanlig historisk fortelling er det naturlig å begynne med det som hendte først og fortsette i kronologisk rekkefølge, det vil si, i riktig tidsrekkefølge. Men kronologisk rekkefølge er ikke den måten geologer har lært om geologi på, eller den måten de leser bergarter.

Geologer har fått sine geologiske kunnskaper med å først bli kjent med de yngste geologiske prosessene. De bruker denne forståelsen til å tolke det som har hendt før. Dette er et prinsipp som alltid brukes i geologi. Det kalles ofte for aktualitetsprinsippet, at "nåtiden er nøkkelen til fortiden." Denne boken følger dette prinsippet. Vi starter med prosesser som hender nå, og har hendt mest nylig: med dagens holocen landskap og med istiden (eller pleistocen) som har formet landskapet.

Nå er det i stor grad mennesker som former landskapet, med sine gravemaskiner og lastebiler, demninger og vannreservoarer, klimaforandringer, og så videre. Et nytt begrep for denne nye tiden, er *antropocen* tid, som betyr menneske-nye tid. Industriprodusert plast, glass, og metall blir karakteristiske fossiler fra denne tiden.

Egenoppgave: søk på internett "stromatolitt Alta" og lag din egen tegning av denne fossiltypen.

Egenoppgave: bruk søkeord "Chicxulub-krateret for å lese mer om meteoritten som forårsaket utslettelsen av dinosaurerne.

Egenoppgave: bruk søkeordene "trilobitt" og tegn noen ulike arter av disse. Det var mange tusen arter, men alle døde ut i slutten av paleozoikum.

Egenoppgave: bruk søkeordene "ammonitt" og tegn noen ulike arter av disse. Det var mange tusen arter, men alle døde ut i slutten av mesozoikum..

Egenoppgave: Ammonitter er beslektet med blekksprut nautilus, som lever enda. Bruk søkeord "chambered nautilus" på youtube.com for å se video av levende nautilus. De er merkelige dyr! Tegn tentaklene som det har. Ammonittene hadde sikkert også tentakler, men de ble nesten aldri bevart som fossiler. Det er ikke forstått hvorfor ammonitter døde ut, og nautilus overlevde da mesozoikum tok slutt!

Fagbegrep å notere seg (scientific terms for internet searches)

aktualitetsprinsippet (uniformitarianism)

ammonitt (ammonite)

antropocen (Anthropocene)

arkeikum (Archean)

devon (Devonian)

evolusjon (evolution)

fanerozoikum (Phanerozoic)

fossil (fossil)

holocen (Holocene)

istid (ice age / glacial)

jura (Jurassic)

kambrium (Cambrian)
karbon (Carboniferous)
kenozoikum (Cenozoic)
kritt (Cretaceous)
kvartær (Quaternary)
mellomistid (interglacial)
mesozoikum (Mesozoic)
neogen (Neogene)
ordovicium (Ordovician)
paleogen (Paleogene)
paleozoikum (Paleozoic)
perm (Permian)
pleistocen (Pleistocene)
prekambrium (Precambrian)
silur (Silurian)
stromatolitt (stromatolite)
tertiær (Tertiary)
tidsskala (time scale)
trias (Triassic)
utslettelse (extinction)

4 Istidsprosesser som formet Norges landskap (kvartærtiden)

For ca. 10 000 år siden, mot slutten av *pleistocen* tid, var Norge dekket av *innlandsis*. Det var omtrent så mye is over Norge som det er over Grønland nå. Det levde folk langs den norske kysten på denne tiden.

For å få inntrykk av hvordan is preget Norge, kan du se på satellittbilder av Grønland på <http://kart.google.no>. Zoom inn på vestkysten av Grønland og se etter befolkete plasser på de isfrie stedene.

Innlandsis er ikke stabil og statisk. Den renner utover og nedover. Fra innlandet renner den ut mot kysten. Isen kan smelte før den når kysten, eller renne helt ut i vannet der store *isfjell* brekker av og driver vekk før de smelter.

Stiv honning kan være en modell for hvordan isbreer renner over landskapet. Hvis du skulle ta et 10 liters spann med stiv honning, og tømme det oppe på et bord, vil honningen lage en lav haug på bordet, som er litt tykkere i midten. Jo fortere du tilfører mer honning, jo fortere renner den utover. Honning vil ikke kunne bli mer enn noen få centimeter tykk, uansett hvor fort det helles utover. Det renner bare fortere vekk. Innlandsis er tilsvarende. Det kan ikke bli mer enn ca. 3000 meter tykk i midten, og blir tynnere utover. Slik er det på Grønland nå, og slik var det i Norge-Sverige-Finland i pleistocen tid. Isen var tykkest i innlandet og ble tynnere ut mot den norske kysten, i sør, i vest, og i nord.

Hvis bordet i ditt honningeksperiment var dekket til frokost, med tallerkener og bestikk, ville honningen ligge glatt over alt sammen. Et høyt glass ville stikke opp, mens resten ville bli dekket. Et høyt fjell som stikker opp over isen heter for en *nunatak*. Det diskuteres blant geologer om det var noen fjell i Norge som var høyt nok til å stikke opp som nunataker da innlandsisen var på sitt maksimal utbredelse.

Honningen ville renne utover det ujevne bordlandskapet. Den vil renne ikke bare nedover, men også oppover, over tallerkener og bestikk. Slik er det med isbreer. De renner opp og over høyder som står i veien. Alle høyder i Norge er lave i forhold til en isbre som er 3000 meter tykk.

Hvis det skulle ligge løse ting som rosiner og cornflakes på bordet og i tallerkener, ville honningen som renner plukke dem opp og ta dem med seg. Det gjør isbreer også. Isen tar med seg de fleste blokker og mindre steiner som er løse eller kan løsnes. Disse avsettes før eller senere, men ikke på de samme plassene som de ble plukket opp. De avsettes under den bevegende isen, eller ved isfronten ut mot kysten. Noen av dem driver vekk med isfjellene.

Geologer kaller disse løse materialer for *sedimenter*. Det er bestemte faguttrykk for de ulike sedimentstørrelsene. Nå må vi bli kjent med dem, og pugge dem. Fra størst til minst er det seks størrelsesbegreper: *blokk; stein; grus; sand; silt; leire*. Sedimentfragmentene kalles generelt for *korn*, og disse er de seks ulike *kornstørrelsene*.

Blokk er korn som er større enn 25 centimeter i diameter. Leire er mindre en 0,002 millimeter i diameter. Det er ikke viktig å pugge de nøyaktige tallene, men det er viktig å ha et omtrentlig forhold til de ulike størrelsene. For å få denne forståelsen, kan kornstørrelsene beskrives slik:

Blokk er for stor til å kaste. Selv en liten blokk er såpass stor og tung at du knapt kan løfte den.

Stein er så pass stor at du kan løfte en stein lett, og du kan kaste en stein langt.

Grus og sand er passe størrelse til å strø med. Det strøs mye grus og sand på norske veier om vinteren. Grus og sand kan selvfølgelig kastes, men ikke kastes særlig langt.

Silt er så fin at det blåser som støv høyt i luften. Hvis du får silt i munnen, merker du kornene mellom tennene.

Leire er så finkornet at du ikke oppfatter det som kornete på tennene. Tannpasta består av hvite korn av leirestørrelse. Man må bruke mikroskop for å se at tannpasta eller leire (som består av korn av leirestørrelse) faktisk består av korn.

Isbreer kan plukke opp og transportere sediment av alle kornstørrelser, fra leire til blokker så store som hus. Når isbreen smelter tilbake, blir disse sedimentene liggende på tilfeldige plasser, og avsetningen kalles for *morene* eller *till*. Veldig mye av Norges overflate er morene, som mange steder er titalls meter tykk.

Morene er lett å kjenne igjen, fordi det inneholder korn av alle størrelser. Det er ikke *sortert* etter kornstørrelse, som andre sedimenter er. Isbreer flytte alle størrelser, og avsetter dem samtidig, usortert. I kontrast til dette, sedimenter avsatt av vind veldig godt sortert. Vind kan flytte sand, silt, og leiere, men kan ikke flytte på blokk, stein, eller grus. Derfor kan vind bare avsette mindre korn; sand, silt og leire. Vann kan flytte alle de seks kornstørrelsene, men kornene blir ikke lagt ned samtidig. De blir lagt ned etter hvert når vannstrømmen blir mindre, og dermed blir kornene sortert.

Fordi at morene er så spesielt med en kombinasjon av blokkstørrelse og mye leirestørrelse, kalles det i England for boulder-clay, eller blokk-leire. England var også dekket av den sammen innlandsis som Norge. Når man finner morene et sted, er det bevis for tidligere isbreer.

Også fersk hard fjell i Norge er et slags bevis for at landet ble forandret under istiden. Isbreene rensket vekk all fjell som ikke var fersk, og Norge har nesten bare fersk fjell, som ikke er *forvitret*. Forvitrete bergarter smuldrer opp, nesten som et gammelt brød. (*Egenoppgave: google bilder søk: "forvitret fjell"*) I land som er nærmere ekvatoren og ikke hadde innlandsis, er fjell ved overflaten ofte forvitret. I Frankrike, for eksempel, er det mange steder at man kan grave ut en ny vei i forvitret granitt uten å bruke sprengstoff. I Norge er sprengstoff alltid nødvendig med veibygging.

Dyp *forvitring*, som i Frankrike, tar lang tid, gjerne millioner av år. Overflaten i Norge var også forvitret før istiden begynte for et par millioner år siden. Men isbreer i Norge rensket opp i forvitret fjell. Isbreene plukket opp og fjernet alt som var forvitret eller løs. Da ble det avsatt morene, på en overflate av fersk hard fjell.

I Norge har vi to typer landoverflater: *berggrunn* og *løsmasser*. Berggrunnen er fersk, hard, og ikke forvitret. Løsmasser var avsatt oppe på berggrunnen, etter isen fjernet den forvitrede berggrunn og eksponerte den som var fersk. Grensen mellom løsmasser og berggrunn er som regel knivskarp. I land som ikke hadde isbreer, er det ikke hensiktsmessig å bruke begrepene løsmasser og berggrunn. Det er ofte en gradvis overgang mellom løse sedimenter som ligger over mindre løse sedimenter, som ligger over fullstendig forvitrete berggrunn.

Forvitringseffekten avtar nedover, og det er først mange meter ned i berggrunnen at det blir forholdsvis harde og ferske bergarter.

I Norge kan man ofte finne bart fjell som ble polert av isbreene, med *skuringsstriper*. Poleringen ble gjort av silt og leire som satt fast under isen, da isbreene beveget seg over landskapet. Større korn, som grus og stein, laget skuringsstripene. Det er ikke selv isen som gjorde poleringen og skuringen, men sedimentene som satt fast i isen. (*Egenoppgave: google bilder søk "skuringsstriper"*) Stripene er ikke helt parallelle med hverandre, men krysser hverandre på lave vinkler. Det er fordi isen beveger seg på kaotiske turbulente måter, slik som vann gjør i en elv.

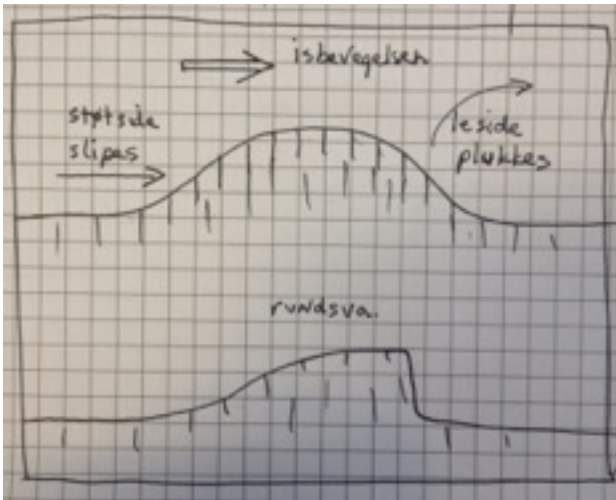
Skuringsstriper bør du kunne finne i naturen der du bor. Stripene viser hvilken retningen den siste isbevegelsen var. I sør Norge peker skuringsstripene mot sør, i vest Norge mot vest, og i nord Norge mot nord. Generelt sett, var isen tykkest midt på kontinentet, og rant utover i de ulike retningene.



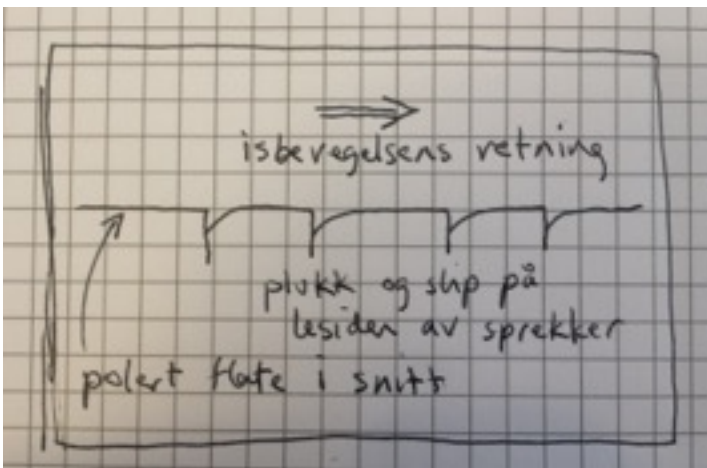
(Fargekartet til venstre skal ikke brukes.)

I tillegg til skuringsstriper, er det en annen måte å se hvilken vei isen beveget seg. Isbevegelsen over uregelmessige overflater laget strømlinjeformer som kalles for *rundsva*. Disse varierer i skala, fra mange hundre meter stor til bare en centimeter små. (*Egenoppgave: google bilder søk "rundsva"*)

Rundsva ble dannet i forhold til forhøyninger og uregelmessigheter i fjellet. Isen presset og slipte på støtsiden. Der ble det avrundet og glatt. Isen plukket og fraktet vekk material fra lesiden, og skapte bratte kanter og klipper. Fjellterreng er ofte behagelig for fotturer og skiturer på støtsiden av fjell, og utfordrende eller farlig bratt på lesiden. Se om du merker denne formen på et kart eller satellittbilde av ditt nærområde.



Du kan også gå ut i naturen nær der du bor, og se etter glatte og slipte fjellflater. Der vil du kunne finne en mindre variant av rundsva. Isen plukket bare på lesiden av gamle sprekker, og kanten på lesiden av sprekken ble slipt glatt etter plukkingen. Fra en kombinasjon av isskuringsstriper på den polerte flaten, og disse små plukkemerker, kan du bestemme nøyaktig hvilken retningen isen beveget seg på dette sted.



Et helt annet bevis for at Norge var nylig dekket av isbreer, er de utallige innsjøene som preger landskapet. Innsjøer er store fordypninger som er fylt med vann. Det er isbreer som lager slike fordypninger, med sin plukking og utgravning på tilfeldige steder. Et landskap uten isbrepåvirkning har vanligvis få eller ingen naturlige fordypninger som kan fylles med vann og bli til innsjøer.

Elver og bekker jobber med å fylle og fjerne fordypninger i landskapet. De fylles først med vann, selvfølgelig, og så fylles de med planter og sedimenter som fraktes inn med elve- og bekkevann. Da blir fordypninger og innsjøer borte etter noen få millioner år. Mange innsjøer har allerede blitt delvis fylt og delvis fjernet, og har blitt til myrer. Men det er mange innsjøer igjen, en tydelig tegn på at det var isbreevirkning som preget landskapet.

Denne boken er spesielt opptatt av bergarter, og ikke av landskapsformer. Men elver og innsjøer er så viktig i dannelse av sedimentære bergarter, at det er nyttig å ha innsikt i hvordan de fungerer.

Elvers største oppgave i livet er å transportere vann til havet. Men rennende vann transporterer også sediment til havet. Vannet er *turbulent*, så sand og silt korn plukkes opp og settes ned kontinuerlig. Stein og grus ruller og dytter hverandre på elvens bunn, og under flom kan også blokk ruller nedover. Leirekorn og oppløste atomer holdes i *suspensjon*, og transporteres ut til havet.

Vannet løfter og avsetter sedimenter under hele reisen. Det er ved å fjerne og transportere sediment, at elvene graver sine elveløp og elvedaler, og dermed former landskapet.

Fordypninger som isbreene laget, er forstyrrende elementer for elveløpet. Fordypninger blir innsjøer, der elvevann står nesten stille. Men vannet har ikke behov for en pause når det renner nedover. Elver jobber for et effektivt elveløp uten forhøyninger og fordypninger, og uten innsjøer. Det minner litt om mennesker som lager en motorvei.



Elver fjerner innsjøer gjennom to forskjellige prosesser: avsetning og erosjon. Det avsettes sediment der elven renner inn i innsjøen. Der står vannet nesten stille, og har ikke lenger bærekapasitet. Elven avsetter sine sedimenter i innsjøen. Og elven eroderes der den renner ut av innsjøen ved demningen. Nå har vannet bevegelse igjen og bærekapasitet. Det plukker opp ny sediment og dermed blir det erosjon ved demningen. Etter hvert blir demningen borte. Da er også innsjøen borte, og elven jobber videre med å grave dalen dypere, uten noe uregelmessige fordypninger som kan forårsake innsjøer.

Et elveløp med mange innsjøer er som en motorvei med mange hull. Det tar tid å reparere dem. De ca. 10 000 årene som har gått siden de siste isbreene smeltet, er tydeligvis ikke nok tid, og det er utallige innsjøer i Norge. Du kan se ulike landskap på Google Earth hvor som helst i verden. Områder der det er mange naturlige innsjøer langs bekkene og elvene, som i Norden, var nylig dekket av isbreer.

Innsjøer og innsjøsedimenter i Norden er fascinerende. Om våren, sommeren, og høsten, når det er mye vannføring i bekkene og elvene, fraktes stein, grus, sand, silt, og leire til innsjøene. Stein og grus avsettes først, i en *delta*, der elvevann renner inn. Silt og sand er lettere og fraktes litt ut i innsjøen før de avsettes på innsjøens bunn. Men leire er så finkornet og lett at den kan holde seg flytende i vannet hele sommeren. Om vinteren er det lite vannføring, og innsjøene dekkes over med is. Innsjøvannet er dermed stillestående og leire får tid til å legge seg ned som et tynt lag med leire.

Med et silt- og sand-lag om sommeren og et leirelag om vinteren, blir det årslag på bunnen av norske innsjøer, nesten som årringer på et tre. Årslagene heter for *varver*. (*Egenoppgave: google søk bilder "varves"*) Vintervarven eller leirelaget er mørk, fordi den finkornete leire absorberer mer lys enn silt og sand. Varver ble først forstått i 1910 av en svensk geolog som heter De Geer. Han tok prøver av svenske innsjøsedimenter og telte hvor mange varver det var. Han var ganske flink til å telle med sine ti svenske fingre. :) Han talt ca. 12000 lag, og kunne dermed bevise at innsjøene begynte å fylle med sedimenter for ca. 12 000 år siden. Han forsto at det isbreene måtte ha forsvant fra Stockholms-området omtrent da. Før hans tolkninger, hadde folk ikke anelse om når den siste istiden hadde tatt slutt.

Nå har geologer mange flere måter å datere istider. Det har vært mye naturlig klimaveksling. I pleistocen var det kaldere perioder som kalles for *istider* eller *glasialer* og varmere perioder som kalles *mellomistider* eller *interglasialer*. Det er ca. 200 000 år mellom glasialene. Den siste glasialen hadde sitt maksimum for ca. 20 000 år siden, og hele Norden var dekket med isbreer, helt ut til kysten. Den siste interglasialen var ca. 120 000 år siden, og da var Norden helt fri for isbreer.

I tillegg til denne langtidsveksling, er det korttidsvekslinger. Disse kalles for *stadialer*, og *interstadialer*. Her er en oversikt over de siste hendelsene:

stadial med mye is, ca. 110 000 år,
interstadial ca. 100 000 år,
stadial med mye is ca. 90 000 år,
interstadial ca. 80 000 år,
stadial med mye is ca. 60 000 år,
interstadial ca. 35 000 år,
stadial med mye is ca. 20 000 år,
interstadial nå.

Hvorfor det skulle være syklisk klimaendringer var en gåte for geologer. Gåten ble løst i ca. 1920 av en serbisk astronom som heter Milankovic. Han resonnererte slik: Isbreer utvikles når landområder får mer snø om vinteren enn det som kan smelte bort om sommeren. Istidene ble resultat av isbreer som bygget seg opp på store landområder i den nordlige halvkloten; Russland, Norden, Grønland, og Canada. Det er langt mer hav og langt mindre land i den sørlige halvkloten, og den har ikke så mye betydning, fordi isbreer må bygges på land, ikke hav.

Som astronom, viste Milankovic at Jordens rotasjon på sin akse og sin bane rundt solen er ikke helt regelmessig. Rotasjonen varierer som en snurrebass som er litt ustabil. Kloden vinger med tidsperioder på ca. 100 000 år, 40 000 år og 20 000 år. Når disse nordlige landmassene får minimalt med solstråling om sommere, smelter ikke vintersnøen og det blir glasier eller stadialer. Når disse landområdene får maksimal sommervarme, blir det interglasialer eller interstadialer. Dette foreslo Milankovic i stor detalj i ca. 1920, men det tok ca. 50 år før interstadialer kunne dateres nøyaktig nok til å bekrefte hans ideene.

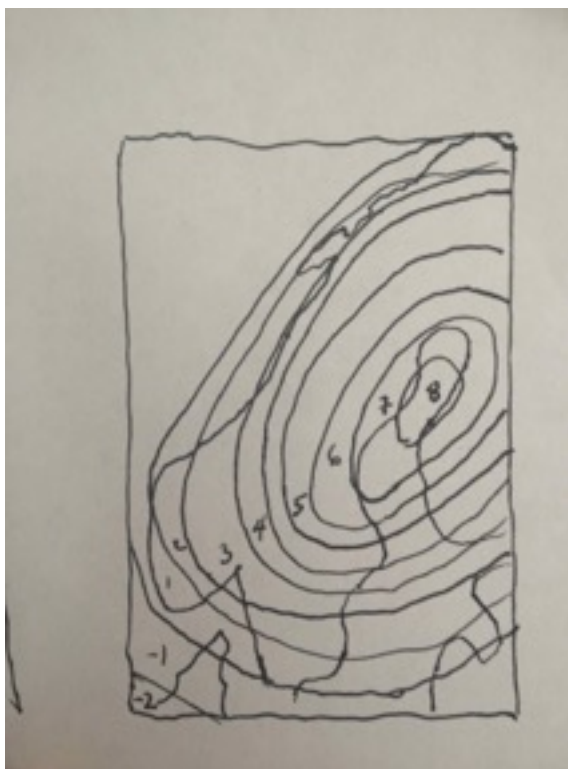
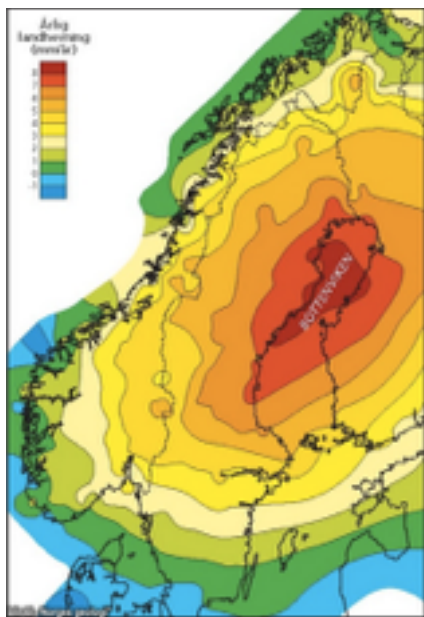
Du kan lese mer om *Milankovic-syklusene* på internett, med tegninger over Jordens astronomiske variasjoner. Det er interessant å vite at Jordens rotasjonsakse har en helning nå på ca. 23,4 grader. Dette er en forholdsvis stor helning, og er med på å gi kloden en interstadial. På grunn av vinglingen, blir helningen stadig mindre, og om 10 000 år vil den bli ca. 22,1 grader, som skulle forårsake neste stadial.

Polarsirkelen bestemmes av helningen. I dag er polarsirkelen ca. 66,6 grader nord (som er 90 grader minus 23,4 grader.) Om ca. 10 000 år vil helningen bli 22,1 grader og polarsirkelen ca. 67,9 grader nord. Så polarsirkelen beveger seg nordover for tiden, med ca. 15 meter hvert år. (Dette nevnes ikke til turister som stopper ved turistattraksjonen polarsirkel langs E6 ved Saltfjellet. Man ønsker ikke at turistene skal vite at polarsirkelen ikke ligger nøyaktig der turistattraksjonen står.)

Vi brukte honning på et kjøkkenbord som modell for innlandsis. Nå tar vi modellen litt videre. Litosfæren er ikke så stivt som et kjøkkenbord. Fordi litosfæren ligger oppe på den myke astenosfæren, kan en bedre modell være en tykk avis (litosfæren) som ligger på en skumgummimadrass (astenosfæren). Vekten på honningen vil presse ned på avisen, og madrassen under vil gi etter. Honningen vil faktisk måtte renne litt oppover avisen for å renne utover. (*Egenoppgave: legg en avis på sengen din og hel noen liter med honning på, for å sjekke at dette stemmer :)*)

Vekten av isen på Grønland er så stor at midten av øya ligger et par hundre meter under havnivået. Midt på Grønland er astenosfæren litt lavere og tynnere enn normalt, og i området rundt Grønland er astenosfæren litt tykkere og høyere enn normalt.

Hvis innlandsis skulle smelte, ville midten av Grønland ligge under havnivået. Innlandsis har nylig smeltet fra Norden (med "nylig" menes det her for ca. 10 000 år siden), og Norden ligger fortsatt under havnivået i midten (Bottenviken, mellom Sverige og Finland.) Det samme gjelder Canada (Hudsonbukta.)



(fargekartet skal ikke brukes, men skal tegnes om eller innarbeides)

I midten var isen tykkest, og beveget seg ut i alle retninger. Her var også litosfæren med kontinentet mest presset ned av isens vekt. Ved Bottenviken har landet hevet seg 250 meter siden isen smeltet vekk, og landet hever seg fortsatt 8 millimeter hvert år. I Norge er det noe mindre heving. Ved Oslo og ved Trondheim er det ca. 3,5 millimeter hvert år, eller 35 centimeter etter 100 år.

Landet i Norge heves nå, og landet i Danmark og i Nederland senkes nå, fordi astenosfæren beveger seg tilbake til plassen den var før siste istiden. Dette er litt heldig for Norge, og spesielt uheldig for Nederland, der man må bygge diker for å holde havet vekk, mens landet synker under havnivået.

Isbreer formet landskapet i Norge. Elvene og fjellene vi er vant til i dag fantes også før istidene, men isbreene har forandret deres form. Blant annet har gamle V-daler blitt til typisk norsk U-daler, og symmetriske fjell har blitt til rundsvalformete fjell. Disse og andre prosessene forklares ikke videre her, fordi det finnes norske bøker som legger vekt på geografi og landskapsdannelse. I denne boken er vi mer opptatt av bergarter, og sedimenter som kan bli til bergarter.

Fagbegrep å notere seg (scientific terms for internet searches)

astenosfæren (asthenosphere)

avsetning (deposit)

berggrunnen (bedrock)

blokk (block)

bærekapasitet (carrying capacity)

demning (dam)

eksponert (exposed)

forvitret (eroded)

forvitring (erosion)

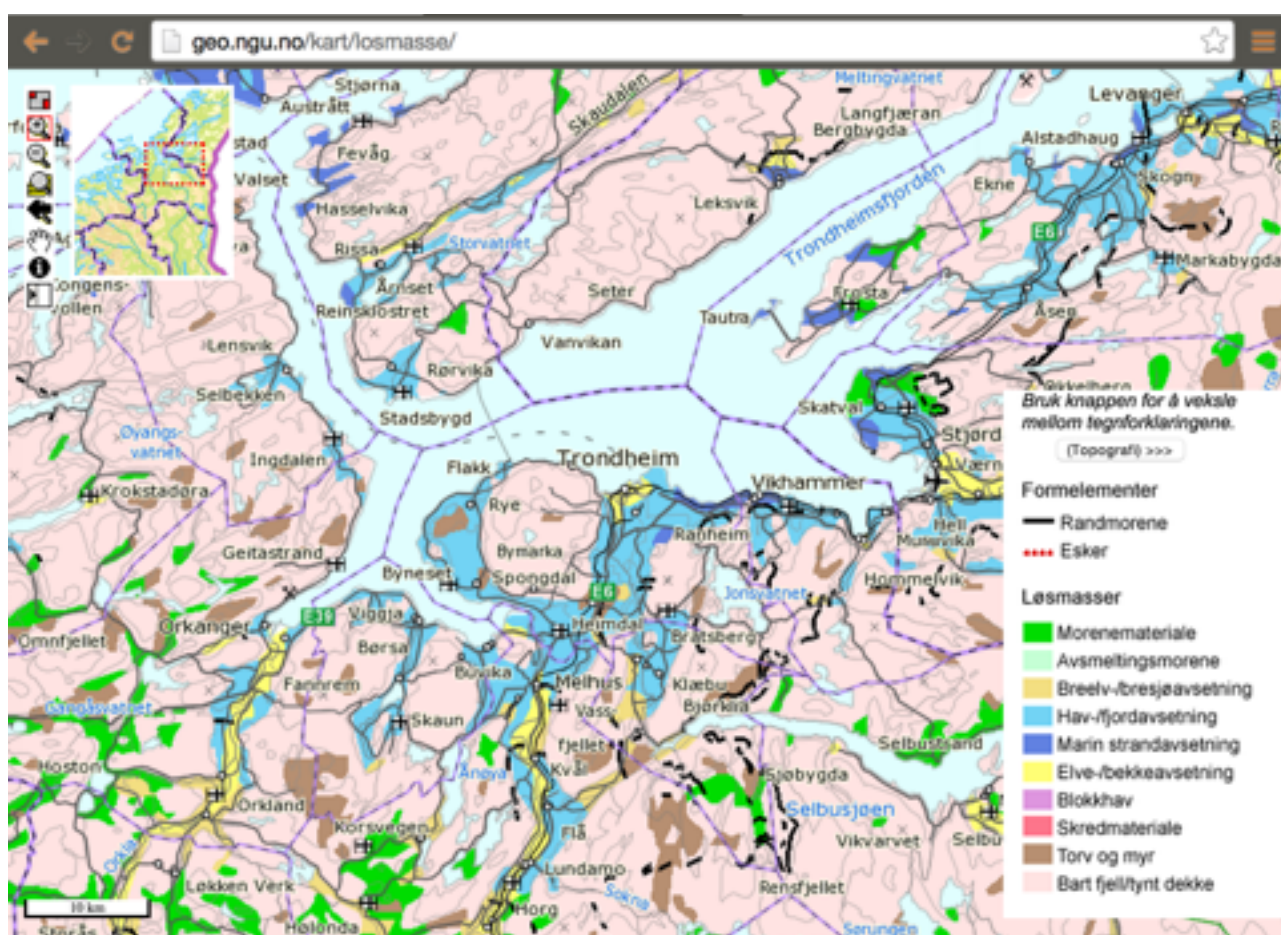
glasial (glacial period)
grus (gravel)
innlandsis (continental glaciers)
innsjø (lake)
interglasial (interglacial period)
interstadial (interstadial)
isbre (glacier)
isfjell (iceberg)
istid (glacial period)
kvartær (Quaternary)
korn (grain)
kornstørrelse (granisize)
leire (clay)
lesiden (leeward side)
litosfæren (lithosphere)
løsmasser (loose Quaternary deposits)
mellomistid (interglacial period)
Milankovic-syklusene (Milankovitch cycles)
morene (moraine)
nunatak (nunatak)
pleistocen (Pleistocene)
polarsirkelen (Polar Circle)
polering (polishing)
rundsva (sheepback)
sand (sand)
silt (silt)
skuringsstriper (glacial striations)
sortert (sorted)
stadial (stadial)
stein (stone)
till (till)
turbulent (turbulent)
varve (varve)

5 Kom i gang med å bruke NGU.no sine digitaliserte løsmassekart

Løsmassene i Norge er ikke bare *morene* eller *till* fra pleistocen isbreer. Mange deler av landet er dekket med andre sedimenter: *torv* fra gjengrodde pleistocene innsjøer og pytter, sand/grus fra pleistocene eller holocene elver, og leire/silt fra pleistocene fjordbunner.

Du kan finne kart over løsmassene på de svært innholdsrike internettsidene til Norges geologiske undersøkelse, NGU.no. Der får du oversikt over hele Norge, og kan zoome inn og se detaljer over nettopp dine hjemmesteder og turterrenger.

Her er et typisk løsmassekart, som viser Trondheimsfjordområdet. Fargene forklares i *tegnforklaringen*. Løsmassekart blir mest interessant når du ser på områder som du selv er kjent med, og når du har en forståelse for hvordan kartene og løsmassene ble dannet. Derfor skal vi gjennomgå de ulike fargene på kartene, og de viktigste løsmassetypene her.



Løsmassekart over området ved Trondheimsfjorden, fra NGU.no

Rosa farger viser hvor det er minimalt med løsmasser, og betegnes bart fjell/tynt dekke. Rosa er fargen valgt for å representere bart fjell, fordi mye av dette er granitter og gneiser som har rosa feltspat og gjør bergarten rosa eller brun. Vi snakker mer om disse bergartene i senere kapitler.

Det er mye rosa farge på løsmassekart i Norge, men det er mer overdekning enn kartet viser. Dette får du inntrykk av når du zoomer inn på rosa steder; du ser at også disse rosa stedene får andre farger i nærbilder, fordi de er i stor grad dekket av morene, eller av torv og myr.

Morene vises med grønne farger på NGUs løsmassekart, og dette er kanskje fordi morene er ofte gress og skogbevokst. Isbreene som beveget seg over landet i pleistocen tid, plukket opp store mengder med forvitrete bergarter, og tok dem med seg som sediment. Da isbreene smeltet, for ca. 10 000 år siden, ble disse sedimentene liggende løs på bakken som morene. Derfor er morene, med sine store fragmenter i finkornet leirematriks, den mest vanlige løsmassen i Norge. Morene er vanligvis mindre enn 10 meter mektig. Når morene er sammenhengende og dekker over berggrunnen, har den fått grønne farger på NGUs løsmassekart.

Etter at isbreene smeltet var landskapet særlig ujevn. Det var fordypninger og forhøyninger overalt. Der det var fordypninger, ble det stående vann eller pytter, og disse ble koblet sammen av små bekker. Bekkene tok med seg litt silt og leire, og pyttene ble etter hvert fylt med sediment og vannplanter, som ble til *torv*. Myr er delvis fylte pytter, og denne fyllingsprosessen fortsetter i dag. Torv har brun farge på løsmassekartene. Dette er et fornuftig fargevalg, fordi torv er brun.

Torv er en sediment som har så mye organisk karbon at den kan skjæres og tørkes og brukes som brensel. Det er en slags fossil drivstoff, som er mindre enn 10 000 år gammel. Hvis torv skulle begraves av andre sedimenter og bli liggende begravd i mange millioner år, vil det bli omdannet til *kull*. Det er varme fra skorpen og trykk fra de overliggende sedimentene som driver av fuktigheten, og konvertere torv til kull. Men disse torvforekomstene er selvfølgelig holocen i alder, og derfor ikke gammel nok for disse omvandlingsprosessene å ha funnet sted.

Mens isbreene smeltet var det særlig mye smeltevann. Store mengder med sediment ble fraktet til bekker, og videre nedover til elver, og så ut til fjorder. Sedimentene som ble avsatt av elver samtidig med avsmeltingen kalles for *breelvavsetninger*. De har oransjefarger på NGUs løsmassekartene.

Breelvavsetninger er preget av sand, grus, og stein. Disse sedimentene ble avsatt av rennende vann som hadde energi nok til å frakte så grove korn. De ble avsatt for ca. 10 000 år siden, ved slutten av pleistocen tid.

Da isbreene var ferdig smeltet, ble det mindre vann i bekkene og elvene, og mindre tilgjengelig sediment å transportere. Men elver fortsatte å erodere, transportere, og avsette de løse sedimentene, som etter slik bearbeidelse kalles for *elve-/bekkeavsetninger*. De har gule farger på løsmassekartene. Det er en lang tradisjon i norsk geologi for at sand og sandstein har gule farger når dette er mulig.

Mange breelvavsetninger ble avsatt akkurat ved tidligere fjord- og kystlinjer, som en slags *deltaavsetning*. Ellevann mistet sin bæree energi da den traff fjorden og sluttet å renne, og det er nettopp der at mye av stein, grus og sand ble avsatt. Silt og leire ble fraktet videre ut i fjorden og ble til *marin-/hav-/fjordavsetninger*. Den marine grensen var mye høyere enn i dag, fordi litosfæren lo nedpresset på grunn av vekten av innlandsis. Midten av kontinentet lå over 200 meter lavere for 10 000 år siden enn det gjør nå. Den høyeste relativ havvannstand heter *MG* som står for *øvre marin grense*.

Sedimentene som kom helt fram til fjord eller hav kalles for *marin-/hav-/fjordavsetninger*, og har blå farger på kartene. Det ble avsatt mest silt og leire, som ofte inneholder hvite skjellfossiler av muslinger. Disse marin-/hav-/fjordavsetninger er stort sett fri for blokk og stein, og utgjør Norges best dyrkningsjord. Disse avsetninger har blå farger på kartene. Blå kartfarger ble kanskje valgt fordi disse sedimentene ble avsatt i det blå hav- og fjordvannet.

Du kan lett bruke NGUs løsmassekart for å finne høyden på MG hvor som helst langs kyst Norge. Bare husk at blåfarge er alltid marine sedimenter og finnes kun lavere enn MG. De høyeste blåfargene i et kystområde viser omtrent hvor høyt fjordnivået var for ca. 10 000 år siden.

Marin leire kalles ofte for *blåleire* når man bruker den til forming og keramikk. Den har en blågrå farge. Mange steder ligger det mer enn 30 meter med marin leire over berggrunnen. Den øverste få centimeter av dette er som regel brungrå farget, fordi det er oksidert av luften, mens resten, helt ned til berggrunnen, er blågrå farget.

Disse store mengder med marin leire er ofte farlig å bygge på, og kalles for *kvikkleire*. Dannelsen av kvikkleire er interessant og viktig å forstå. Da isbreene beveget seg over Norge, gnidde det stein og blokk mot berggrunnen. Da ble det danne mye finknust pulver eller steinmel, og dette ble transportert ut til kysten. Mye av dette steinmel ble også liggende løst på bakken da isbreene smeltet vekk til slutt. Fuktighet forårsaket kjemiske reaksjoner, og dette pulver ble omvandlet til leiremineraler, som er spesielt fordi de er tynn og flatt, som mikroskopiske spillekort.

Da disse leiremineralene falt ned på fjordbunn, ble de ikke liggende som horisontale spillekort, som man skulle kanskje forvente. De ble stående på høykant på fjordbunnen, og man kaller denne mønster for korthusstruktur. Har du laget kortkus noen gang med spillekort? Korthusstruktur er ikke stabil, det er derfor marin leire kan være farlig.

Korthusstruktur dannes i saltvann, ikke i ferskvann, fordi saltvann er elektrisk ledende og små spenninger i leireflakene tiltrekker hverandre på høykant. Salt i leiremassene også holder leireflakene på plass, slik at de ikke klapper sammen. Men over de siste 10 000 år, har det meste av dette saltet blitt vasket vekk av regnvann og grunnvann. Da står korthusstruktur av gammel vane, med vannmolekyler fanget mellom leireflakene.

Marinleire kan bli kvikk, når leireflakene klapper sammen, og de mikroskopiske vannmolekulene som er låst mellom leireflakene i korthusstrukturen blir frigjort. Store mengder med vann og leire beveger seg i stor fart nedover bakken. Dette er en av de virkelig store og spennende farer for folk og fe i kystnorge. Du kan se på NGU løsmassekart om du kanskje bor på marin leire. Det er mange titusen mennesker i Norge som gjør det. Kanskje du har enda en ting mer i livet å stresse deg over?

(Egenoppgave: se på den dramatiske videon "Kvikkleireskredet i Rissa" på [youtube.com](https://www.youtube.com))

Landhevingen etter siste istiden forteller oss noe om *litosfærens* og *astenosfærens* egenskaper. De må være i en slags balanselikevekt. Astenosfæren må kunne deformeres eller flyttes veldig sakte over lang tid. Den presses ned og til siden når kontinentet er belastet med tunge isbreer, og hever seg igjen når isen er borte. Den hever seg fortsatt noen millimeter hvert år, selv om isbreenes belastning ble borte for 10 000 år siden. Astenosfæren er en del av mantelen som er ganske interessant og viktig i geologi. Nå må vi lære mer om hva mantelen består av og hvordan den fungerer.

Fagbegrep å notere seg (scientific terms for internet searches)
blåleire (potters clay)

astenosfære (asthenosphere)
holocen (Holocene)
korthus (house of cards)
kull (coal)
kvikkleire (quick clay)
kvikkleireskred (quick clay landslide)
leirematriks (clay matrix)
leiremineral (flat-shaped clay mineral)
leirekornstørrelse (clay-size grain size)
litosfære (lithosphere)
løsmasser (loose Quaternary deposits)
marin (marine)
morene (moraine)
pleistocen (Pleistocene)
steinmel (glacial rock flour)
tegnforklaring (map legend)
till (till)

6 Mineraler og magmatiske bergarter i mantelen og skorpen

Bergarter består av *mineraler*. Mineraler består av *atomer*.

Geologer ønsker å "lese" bergarter, som vanlige folk kan lese en bok. La oss se nærmere på denne lesemodellen:

Atom er som bokstaver i lesemodellen. På samme måte som det er bare 29 norske bokstaver, er det 98 naturlige atomtyper. Disse typene heter *grunnstoffer*, og deres navn forkortes til en *kjemisk symbol* med en eller to bokstaver. De fleste grunnstoffer er veldig sjelden, og vi jobber ikke med dem her. Men de åtte vanligste grunnstoffene (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg) utgjør nesten 99% av skorpen. Du kan finne dem i radene 2, 3, og 4 i det *periodesystemet*.

Hydrogen 1 H 1.00794(7)																	Helium 2 He 4.002602(2)				
Litium 3 Li 6.941(2)	Beryllium 4 Be 9.012182(2)															Bor 5 B 10.811(7)	Karbon 6 C 12.0107(8)	Nitrogen 7 N 14.007(2)	Oxygen 8 O 15.999(4)	Fluor 9 F 18.9984032(5)	Neon 10 Ne 20.1797(6)
Natrium 11 Na 22.98976928(2)	Magnesium 12 Mg 24.304(6)															Aluminium 13 Al 26.9815386(3)	Silisium 14 Si 28.0855(3)	Fosfor 15 P 30.9737612(8)	Svovel 16 S 32.06(5)	Klor 17 Cl 35.453(2)	Argon 18 Ar 39.948(1)
Kalium 19 K 39.0983(1)	Kalsium 20 Ca 40.078(4)	Scandium 21 Sc 44.955910(8)	Titan 22 Ti 47.867(1)	Vanadium 23 V 50.9415(1)	Krom 24 Cr 51.9961(6)	Mangan 25 Mn 54.938044(1)	Jern 26 Fe 55.845(2)	Kobolt 27 Co 58.933200(5)	Nikkel 28 Ni 58.6934(2)	Kobber 29 Cu 63.546(3)	Zink 30 Zn 65.409(4)	Gallium 31 Ga 69.723(1)	Germanium 32 Ge 72.64(1)	Arsen 33 As 74.9216(2)	Selen 34 Se 78.96(3)	Brom 35 Br 79.904(1)	Krypton 36 Kr 83.798(2)				
Rubidium 37 Rb 85.4678(3)	Strontium 38 Sr 87.62(1)	Ytterbium 39 Y 88.90584(2)	Zirkonium 40 Zr 91.224(2)	Niob 41 Nb 92.90638(2)	Molibden 42 Mo 95.94(1)	Technetium 43 Tc (98)	Rutenium 44 Ru 101.07(2)	Rhodium 45 Rh 102.90550(2)	Palladium 46 Pd 106.42(1)	Sølv 47 Ag 107.8682(2)	Kadmium 48 Cd 112.411(8)	Indium 49 In 114.818(2)	Tinn 50 Sn 118.710(7)	Antimon 51 Sb 121.760(1)	Tellur 52 Te 127.60(2)	Jod 53 I 126.90447(3)	Xenon 54 Xe 131.29(3)				
Cesium 55 Cs 132.90545(2)	Barium 56 Ba 137.327(7)	* 57-71 *	Hafnium 72 Hf 178.49(2)	Tantal 73 Ta 180.9479(1)	Wolfram 74 W 183.84(1)	Rhenium 75 Re 186.207(1)	Osmium 76 Os 190.23(3)	Iridium 77 Ir 192.222(1)	Platina 78 Pt 195.078(2)	Gull 79 Au 196.96657(2)	Kvikksølv 80 Hg 200.59(2)	Thallium 81 Tl 204.387(2)	Bly 82 Pb 207.2(1)	Vanadium 83 Bi 208.98038(2)	Polonium 84 Po (209)	Arsen 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)				
Francium 87 Fr (223)	Radium 88 Ra (226)	89-103 **	Actinoidium 104 Rf (261)	Dubnium 105 Db (262)	Seaborgium 106 Sg (266)	Borhium 107 Bh (264)	Hassium 108 Hs (277)	Mitlerium 109 Mt (268)	Darmstadtium 110 Ds (271)	Røntgenium 111 Rg (272)	Copernicium 112 Cn (285)	Uranium 113 Uuh (284)	Flerovium 114 Fl (289)	Uup 115 Uup (288)	Livermorium 116 Lv (293)	Uus 117 Uus (294)	Uuo 118 Uuo (294)				

I lesemodellen, er *mineraler* som ord. For å lage ord, kan bokstaver bare kombineres på bestemte måter. Tilsvarende, for å lage mineraler, kan grunnstoffer bare kombineres på bestemte kjemiske måter. Derfor er det ikke millioner av ulike mineraler. Det er litt over 4000 ulike mineraler i verden, og ca. 1100 av disse er funnet i Norge. De aller fleste av disse mineraltyper er veldig sjelden. Hvis du lærer bare ti viktige mineraler (*kvarts, kalsitt, kalifeltspat, plagioklas, muskovitt, biotitt, granat, hornblende, pyroksen, olivin*) kan du forstå veldig mye geologi. De aller fleste folk har ikke blitt introdusert til dem.

I lesemodellen er *bergarter* som setninger. Setninger er mye mer interessant enn enkelte ord, og i geologi er bergarter mye mer interessant enn enkelte mineraler. Det er kanskje uendelig mange variasjoner av bergarter, men de kan grupperes under bestemte navn, og ca. femti bergartsnavn dekker omtrent alt som er viktig for geologisk forståelse. Vi starter snart med noe av de *magmatiske* bergartene. Det er de som har opphav fra *magma* eller smelte.

I lesemodellen, er *blotninger*, eller steder der berggrunn er blotet og ikke dekket over med løsmasser, som avsnitt i en bok. Det tar litt tid å se over en hel blotning med flere bergarter, men da skjønner man mye av konteksten. En vanlig type blotning i Norge er en *veiskjæring*, der berggrunnen er skjært eller sprengt vekk for å lage en vei.

Kartområder har mange blotninger, som må kartlegges for å forstå helheten. I lesemodellen er kartområder som hele kapitler eller bøker.

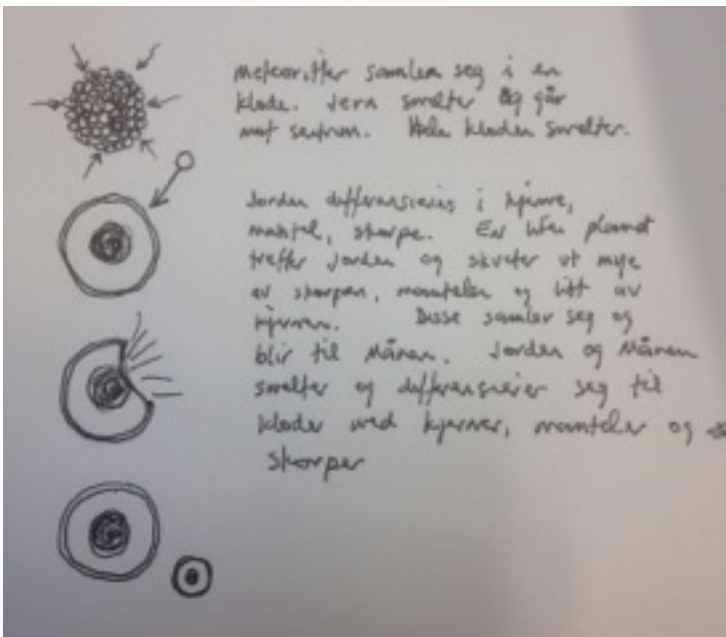
Nå må vi tilbake til bokstavene, det vil si til atomer eller grunnstoffer, og diskutere hvor de kom fra.

Jordkloden ble dannet for ca. 4,54 milliarder år siden, da mengdevis av *meteoritter* samlet seg til en klode. De fire dominerende grunnstoffene i kloden var 35% oksygen (O), 30% jern (Fe), 15% silisium (Si), og 13% magnesium (Mg). Alle de andre 94 naturlige grunnstoffene var også til stedet, men i mindre mengder. Blant disse var radioaktive atomer av grunnstoffene kalium (K) og uran (U). Det var nok av dem til å varme opp kloden, og etter hvert ble temperaturen høyt nok til at jern begynte å smelte.

Jernsmelte er tung. De tunge smeltdroppene strømmte nedover i kloden. Da ble jernets *posisjonsenergi* omgjort til varme, og kloden ble så varmt at alt sammen smeltet. Denne omgjøringen av posisjonsenergi til termalenergi tilsvarer produksjon av hydroelektrisk kraft, der vannets posisjonsenergi blir omgjort til elektrisk energi i kraftstasjonen. Denne begivenhet i jordklodens utvikling kalles for *jernkatastrofen*.

Med hele kloden smeltet som resultat av jernkatastrofen, kunne også andre atomer bevege seg nokså fritt, og fordele seg etter vekten. Tyngre atomer strømmte nedover, og lettere atomer gikk oppover. Men det var atomforbindelser, og ikke atomene selv, som fordelte seg. Jern (Fe) som ikke var bindet til noe annet, var tung og gikk mot kjernen. Men mye av jernet var bindet med lettere grunnstoffer, spesielt oksygen (O), silisium (Si), og magnesium (Mg) som det var mye av i jordkloden. Disse forbindelser var ikke tung nok til å bevege seg til kjernen, og ikke lett nok til å bevege seg til toppen. De samlet seg midt i mellom, og dannet mantelen. De letteste forbindelser gikk oppover mot overflaten og dannet jordklodens første skorpe. Denne tidlige inndelingen kalles for jordklodens *differensiering*.

Så kom den neste katastrofen, utenfra. En diger meteoritt eller liten planet slo ned på Jorden, og skvatt ut mye av mantelen og skorpen, og kanskje litt at kjernen. Dette stoffet samlet seg og dannet Månen. Fordi at kun lite av Jordens jernkjerne ble tatt med, har Månen en mye lavere jernprosent og lavere egenvekt enn Jorden og de andre planetene. Den ihjel slåtte jordkloden rettet seg opp som en klode på ny, og differensierte igjen med kjerne, mantel og skorpe.



Nå har vi en jordklode som er slik:

Vi har en *kjerne* som er mest jern (Fe). Den har også en god del nikkell, og litt gull og andre tunge grunnstoffer.

Vi har en *mantel* som er 45% oksygen (O), 22% magnesium (Mg), 22% silisium (Si), og 6% jern (Fe).

Og vi har en *skorpe* der bare åtte grunnstoffer utgjør nesten 99%. Her er rekkefølgen av de 8 grunnstoffene: 46% oksygen (O), 28% silisium (Si), 8% aluminium (Al), 5% jern (Fe), 4% kalsium (Ca), 3% natrium (Na), 3% kalium (K), og 2% magnesium (Mg).

Skorpen er det vi lever på, og disse åtte grunnstoffene i skorpen er så viktige at mange geologer ønsker å huske dem. Amerikanske geologistudenter har en nyttig huskeregel for rekkefølgen av disse åtte grunnstoffer O, Si, Al, Fe (Iron), Ca, N (sodium), K (potassium), Mg som går: "Only Strong Athletes In College Study Past Midnight". Kan du selv kan lage en norsk huskeregel som kan brukes for O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg? Her er ett forsøk: OkseSlam av Aluminium og Jern Calles Naturligvis for "KuMøgk"

De fleste folkene er kjent med at atmosfæren har mye oksygen. Oksygen som vi puster er lett å legge merke til. Og folk flest vet at havet har mye oksygen, fordi formelen for vann er H₂O. Men det er få som vet eller tenker over av at alminnelige bergarter består mest av oksygen.

Fordi at skorpen har så mye oksygen O og Si, er de aller fleste bergarter bygget opp av nettopp disse to grunnstoffene. Mineraler med O og Si heter *silikatmineraler* eller bare *silikater*. Noen har jern (Fe) og magnesium (Mg) som gjør dem mørk i farge.

Her er listen over silikatene som vi skal jobbe med nå:

Mørke silikater (inneholder jern og magnesium):

olivin (engelsk: olivine) inneholder MgFeSiO olivengrønn, hovedmineral i mantelen.

pyroksen (pyroxene) CaMgFeSiO svart
hornblende (hornblende) CaAlMgFeSiO og OH (vann), amfibolgruppe, svart
biotitt (biotite) KAlFeMgSiO og OH (vann) glimmergruppe, svart.

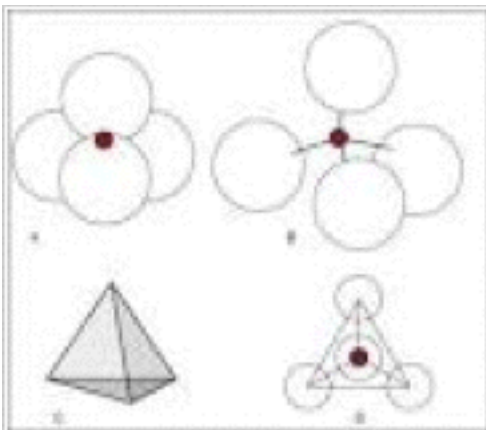
Lyse silikater (inneholder ikke jern og magnesium):

kvarts (quartz) SiO, ofte gjennomsiktig, grå, hvit, ser ofte ut som glass
kalifeltspat (K-feldpar) KAlSiO feltspatgruppe, ofte lys rosa
plagioklas (plagioclase) NaAlSiO-CaAlSiO feltspatgruppe, ofte hvit
muskovitt (muscovite) KAlSiO og OH (vann) glimmergruppe, fargeløs eller sølvaktig

Silikater har mye silisium (Si) og oksygen (O). Disse forekommer ofte i naturen som *ioner*, eller atomer med en positiv eller negativ elektrisk ladning. Oksygen er vanligvis en *anion*, som betyr at den har negativ ladning. Den har to ekstra elektroner, så den har -2 ladning, og skrives O^{2-} . Silisium er vanligvis en *kation*, med positiv ladning eller spenning. Den har fire mindre elektroner enn ønskelig og da skrives det Si^{4+} . I mineraler og i smelter, er det en slags attraksjon mellom anioner og kationer, og de lager gjerne en kjemisk binding.

Man kunne fleipe litt med å si at i atomenes sexverden, er kationer hunnkjønn og anioner hankjønn. Når anioner parer seg, er det anioner som gir elektroner og kationer som tar i mot. Bindning er når de gir og tar, eller deler noen av sine elektroner seg i mellom.

Atomer har en bestemt størrelse. Man kan bruke klinkekuler som modeller for dem. Silisium (Si) er veldig liten og oksygen (O) er forholdsvis stor. Hvis fire store O sitter tett sammen, er det nøyaktig plass i midten til en bitteliten Si. Spenningen og størrelsestilpasning er så attraktiv, at en Si og fire O alltid finner hverandre i smeltemasser og i mineraler, og danner SiO_4 -enheter, som heter for SiO_4 -tetraedraer.



Fire ulike modeller eller måter å tegne en SiO_4 -tetraedre.

Si er kation med +4 spenning, og O er anion med -2 spenning. Da er de tiltrukket hverandre og bindes. Men når de danner en SiO_4 -tetraedra har den fortsatt ikke spenningsbalanse. Det blir en anion, med -4 spenning. Den skrives SiO_4^{-4} . Den vil da gjerne binde seg med kationer for å oppnå spenningsbalansen.

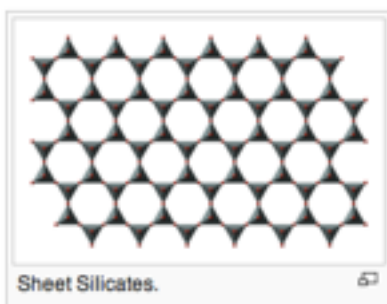
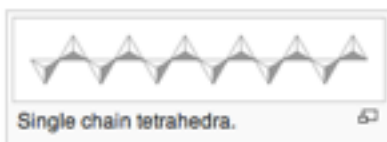
Mantelen består hovedsakelig av oksygen (O), magnesium (Mg), og jern (Fe). Mineraler som dominerer der er *olivin*, som har SiO_4 -tetraedrer, der Mg og Fe er kationer som binder seg til de fire O-anionene i hver tetraedre, og bygge sammen et *mineralgitter*. Alle mineraler har en gitter, eller fastlåst oppbygging av bundet atomer. Fordi at SiO_4 -tetraedrer ikke er bindet til hverandre i olivin, men står enkeltvis, kalles den en *enkel silikat*. (Egenoppgave: søk "olivin" i

google bilder for å se dette mineralet.)

Et annet silikat i mantelen er *pyroksen*. Den er en *kjedesilikat*. Den har også SiO_4 -tetraedrer, men de er bundet med hverandre i lange kjeder. Det er to av O atomene i hver tetraedre som bindes med O fra andre tetraedre for å lage kjeden. Det er Mg, Fe, og Ca atomer som binder seg til de andre O atomene, og holder kjedene til hverandre. Disse sammenbundet kjedene utgjør pyrokens mineralgitter. (Egenoppgave: søk "pyroksen" i google bilder for å se dette mineralet.)

I skorpen er det mange flere silikater, og flere gittertyper. *Hornblende* er en *dobbelkjedesilikat*. Det vil si at det er to SiO_4 -kjeder som er bundet direkte til hverandre ved oksygenatomene. Og der er det kalsium (Ca) og aluminium (Al), i tillegg til Mg, Fe som er mellom dobbelkjedene og holder dem sammen i hele gitteret. (Egenoppgave: søk "hornblende" i google bilder for å se dette mineralet.)

Glimmermineraler, som for eksempel *biotitt*, har SiO_4 -tetraedrer som bindes med hverandre i sterke plan eller sjikt. Derfor er glimmermineralene *sjiktsilikater*. Her er det kationene K, Al, Mg, Fe som holder sjiktene sammen som en del av gitteret.



SiO_4 -tetraedrer, tegnet her som trekanter, kan være bundet til hverandre i enkel kjeder, i dobbel kjeder og i sjikt. Disse er da bundet sammen med hjelp av kationer.

I kjedesilikater er SiO_4 bundet i en linje, det vil si i 1-dimensjon. I sjiktsilikater er SiO_4 bundet i et plan, eller i 2-dimensjoner. Når SiO_4 bindes til andre SiO_4 i 3-dimensjoner, kaller vi det for *nettverksilikat*. *Feltspater* og *kvarts* er nettverksilikater.

I feltspater er SiO_4 bundet til hverandre i alle tre retninger, med plass inn i mellom til kationer Ca, Na, eller K.

I kvarts er SiO_4 bundet til hverandre i alle retninger, uten plass til kationer. SiO_4 bindes i kvarts ved å dele sine elektroner jevnt mellom seg, i stedet for å gi og ta. Dette er en veldig sterk bindingsmåte, og kvarts er derfor et veldig hardt mineral, som kan ripe glass og de fleste mineraler.

Da har vi gått gjennom de viktige silikatmineralene og deres oppbygning. Nå kan vi se hva som skjer når de smelter. Det er gjennom smeltingen og størkningen at nye magmatiske bergarter dannes. Utviklingen er avhengig av smeltetemperaturer, og hvor mye lyse og mørke mineraler bergarten inneholder.

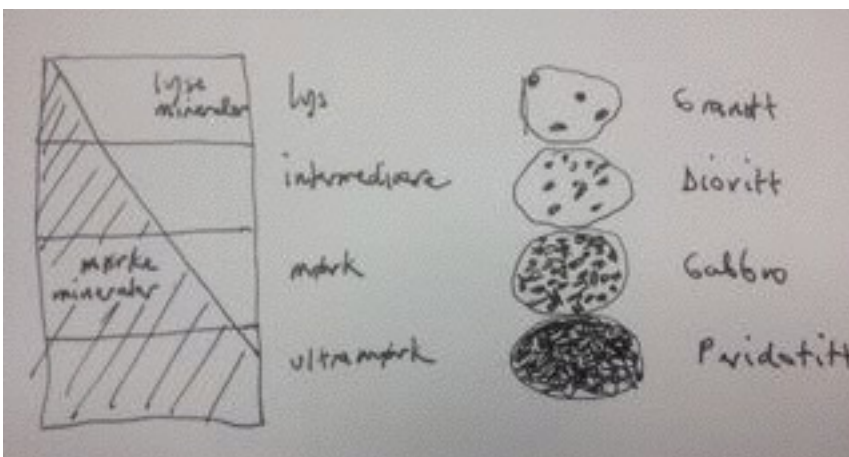
Smelting av bergarter er noe som geologi elever ikke har erfaring med, så det er godt å starte med å tenke på noe som vi er mer vant til å smelte og fryse: iskrem.

Tenk at vi har en bergart som består av sammenpresset fragmenter av hvit iskrem, mørk kokesjokolade, lyse melkesjokolade, og gul meierismør. De fire tingene har forskjellige farger og forskjellige smeltetemperaturer. Hvis vi varmer det opp i en stekepanne, vil kanskje alle fire ingredienser smelte, men i ulike hastigheter og mengder. Det som smelter først og mest vil bli iskremen. Neste som smelter blir smøret. Mindre smelte blir det av den lyse sjokoladen, og den mørke kokesjokoladen vil bare så vidt smelte.

Hvis desserten smelter bare delvis, blir smeltet som renner av bli helt lys. Jo mer som smelter jo mørkere blir smeltet. Bare hvis alt sammen smelter, vil smeltet få samme innhold som utgangspunktet. Slik er det med bergarter. Vanligvis smelter bergarter bare delvis, og smeltet er derfor lysere enn utgangspunktet.

Nå kan vi tenke på silikater og ikke på matmodellen.

Magmatiske bergarter deles inn i fire typer, etter hvor lys de er. Fra mest lys til mest mørk heter de *granitt*, *dioritt*, *gabbro*, og *peridotitt*. For å huske denne rekkefølgen med viktige navn, kan det godt brukes en huskeregel: "GranDiosa! Gap-opp, Per(idiot)"



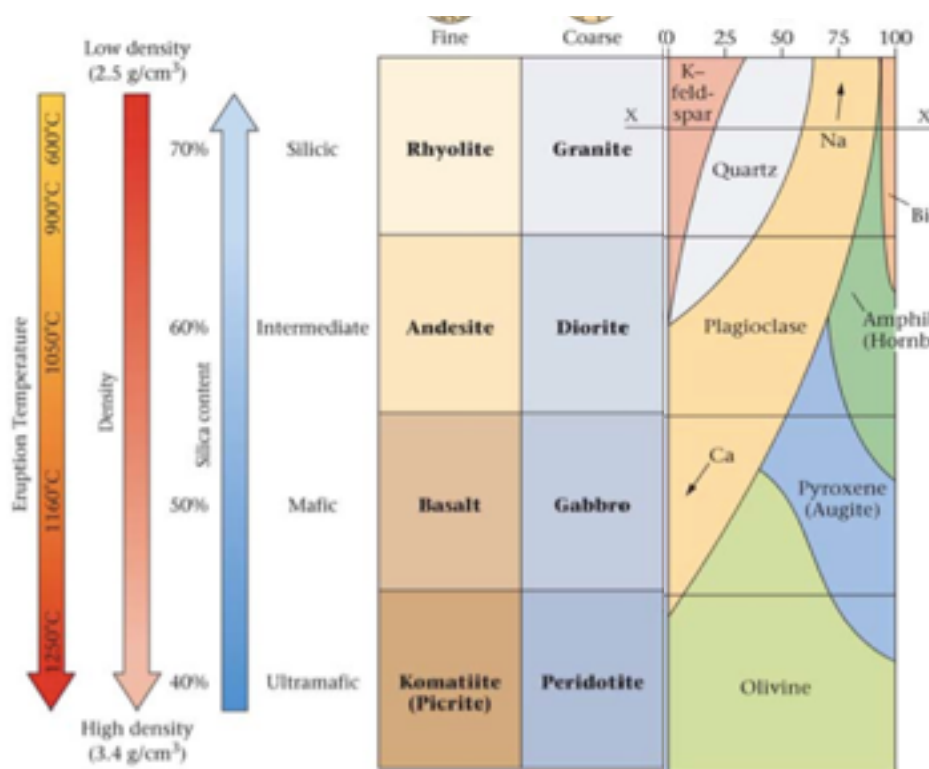
Lys, lys-mørk, mørk, ultramørk
100%, 20% - 80%, 50% - 50%, 95% , 100%

Uformelt kan disse fire gruppene kalles for lys, lys-mørk, mørk, og ultramørk. Hvor lys eller mørk de er, avhengig av hvor mye lyse og mørke mineraler de har.

<u>Mørke silikater</u>	<u>Lyse silikater</u>
Biotitt	Muskovitt
Hornblende	Kalifeltspat
Pyroksen	Kvarts
Olivin	Plagioklas

I diagrammet er det en skrå linje tvers gjennom, som viser hvor mye mørke og lys mineraler det er. De horisontale linjene viser grensene mellom de ulike bergarter. En peridotitt som representeres av den horisontale linjen helt nederst på diagrammet har 100% mørke mineraler. Den lyseste peridotitt er den som ligger langs den horisontale linjen til gabbro. Den har ca. 5% lyse mineraler. Grensen mellom gabbroer og dioritter er omtrent der bergarten har 50% mørke og 50% lyse mineraler. Granitter har mindre enn ca. 20% mørke mineraler.

Mørke bergarter kalles vanligvis for *mafisk*. Dette kommer av ma-fe, fordi de domineres av de mørke mineralene med magnesium ("ma") og jern ("fe"). Lyse bergarter kalles vanligvis for *felsisk*. Dette kommer av fel-si, fordi de domineres av feltspat og silisium. En lys-mørk bergart kalles vanligvis for en *intermediær* bergart. Da er de fire gruppene: *felsisk*, *intermediære*, *mafisk*, og *ultramafisk*.



tilføye på venstre side: ca. 36% Si, ca. 30%, Si ca. 25% Si ca. 23% Si ca. 18% Si

Magmatiske bergarter varierer i sammensetning fra ca. 18 til 36% Si. Man kan bruke Si-innholdet i stedet for lys og mørk prosenter for å dele inn bergarter:

Felsisk varierer fra ca. 30 til 36% Si.

Intermediære varierer fra ca. 25 til 30% Si.

Mafiske varierer fra ca. 23 til 25% Si.

Ultramafiske varierer fra ca. 18 til 23% Si.

Mantelen har ca. 22% Si og er alltid ultramafisk. Miniskorpen er alltid mafisk. Blandeskorpen varierer mye, men er intermediære i gjennomsnitt (ca. 28% Si).

Mg og Fe gjør mineraler tyngre. Ultramafiske bergarter er dermed tyngst. Deres egenvekt er ca 3,3 kg/liter. Mafiske bergarter veier ca. 3,0 kg/l, intermediære er ca. 2,8 kg/l, og felsiske er ca. 2,6 kg/l.

Ultramafisk bergarter er nederst i diagrammet, ikke bare fordi de er tyngst og utgjør mantelen som er nederst i litosfæren. De er også nederst fordi jorden blir varmere nedover, og ultramafiske bergarter har høyest smeltetemperaturer. Ultramafiske bergarter kan smelte mellom 1200-1300 grader, mafiske smelter mellom ca. 1000-1250 grader, intermediære smelter mellom ca. 800-1100 grader, og felsiske smelter mellom ca. 600-900 grader. Temperaturene varierer med sammensetningen og ved trykkforhold.

Til høyre i diagrammet ser man mineralene som utgjør de forskjellige bergartene. Også der ligger mineralene med høyest smeltetemperaturer nederst. Til venstre er de mørke mineralene olivin, pyroksen, hornblende, og biotitt. Til høyre er de lyse mineralene, plagioklas-feltspat, kvarts, og kalifeltspat.

Horisontale linjer gjennom mineraldiagrammet indikerer hvilke mineraler som finnes og hvilken prosent av bergarten de utgjør. Den mest ultramafisk utgave av peridotitt er 100% olivin. Peridotitt som grenser til gabbro har ca. 65% olivin, ca. 30% pyroksen, og ca. 5% plagioklas. Den har da ca. 95% mørke mineraler (olivin og pyroksen) og ca. 5% lyse (plagioklas.)

Magma er smelte, og det er ofte ingen mineraler i magma. Hvis magma avkjøles og størkner nesten øyeblikkelig, for eksempel ved et vulkansk utbrudd som foregår veldig fort, vil ikke mineraler ha tid til å vokse og magma eller lava vil størkne til et *glass*.

Hvis magma størkner litt saktere, for eksempel over mange dager i en tykk lavastrøm, vil det være tidsnok for bitte små krystaller å dannes. De er fortsatt ikke synlig uten mikroskop.

Hvis magma størkner veldig sakte, over mange år eller tusener av år, nede i skorpen, har mineralene god tid til å vokse stor. Det er vanlig at de blir mange millimeter stor, og noen blir flere centimeter stor. De er godt synlig uten mikroskop eller lupe.

Hvis mineralene er så *grovkornet* at de er synlige, bruker vi navnene *granitt*, *dioritt*, *gabbro*, og *peridotitt*. Men noen magmatiske bergarter er så *finkornet* at vi ikke ser mineralene. Dette gjelder stort sett de vulkanske bergartene. Da heter de *ryolitt*, *andesitt*, *basalt*, og *komatiit*. En huskeregel for disse merkelige navn kan være: "En royal and sitter på en basal kommode."

Her var det massevis av nye navn og systemer. Men nå er det mulig å forstå hvordan skorpen oppstår fra mantelen, og hvordan lysere bergarter oppstår fra mørkere bergarter. Disse er spennende og avanserte geologisk prosesser, som folk flest ikke aner noe om.

Mantelen er ultramafisk, miniskorpen er mafisk, og blandeskorpen er i gjennomsnitt intermediære. Disse sammensetningene har noe med bergartenes vekt å gjøre, men er mest på grunn av de forskjellige smeltetemperaturer.

Mantelen er ultramafisk fordi ultramafiske bergarter er tyngre, og de tåler høye temperaturer

på dybden, uten å smelte. Hvis det hadde vært noen mafiske bergarter der nede, hadde de smeltet og kommet oppover som magma for lenge siden. Mantelen er i solid tilstand, men det er så varmt at det ikke skal mye til for å få mantelen til å smelte. Og noen drypp er det i astenosfæren, men ikke nok til at de samler seg.

Litt ekstra varme kan bryte bindinger og dermed skaper magma. Eller, hvis et parti med mantelen opplever litt mindre trykk, vil det begynne å smelte. Trykk holder bindingene sammen og holder bergarten i solid tilstand. Hvis et parti med mantelen stiger litt, blir det mindre vekt over, og dermed mindre trykk. Dette heter dekompresjon, og *dekompresjonssmelting* er det vanligste måte at magma dannes i mantelen.

Hvis et parti med mantelen kunne smelte 100%, vil magmaet være ultramafisk. 100% smelting vil alltid gi den samme sammensetningen som utgangspunktet. Men det er aldri nok varme i mantelen for at 100% av et mantelparti smelter, og det har ikke vært ultramafiske vulkaner siden prekambrisk tid.

Hvis bare noen prosenter av et mantelparti smelter, vil magma som dannes være mafisk. Det er fordi at mineralene med litt lavere smeltetemperaturer, som pyroksen og eventuelt plagioklas, vil smelte først. Dette ser vi også i diagrammet. Disse mineralene utgjør en liten del av ultramafiske bergarter, men de bidrar mye når det blir delvis smelte.

Magma har lavere egenvekt enn tilsvarende bergarter. Det er fordi det er mer avstand mellom atomene i væsker enn i solide materialer. Siden magma er lettere og kan bevege seg, går den oppover i mantelen og i skorpen. Den kan komme helt opp til overflaten, der den blir til lava.

Magma som kommer direkte fra delvis smelting av mantelen stiger opp og danner miniskorpen. Derfor er alle bergarter i miniskorpe mafisk.

Hvordan ulike magmatyper oppstår kan da oppsummeres slik:

-->Delvis smelting alltid produserer magma som er lysere enn den opprinnelige bergarten.

Delvis smelting av en *peridotitt* vil danne en mafisk magma, som kan størkne til en ny *gabbro*.

Delvis smelting av en *gabbro* vil danne en intermediære magma, som kan størkne til en ny *dioritt*.

Delvis smelting av en *dioritt* vil danne en felsisk magma, som kan størkne til en ny *granitt*.

Delvis smelting av en *granitt* vil danne en enda mer felsisk magma, som kan størkne til en ny, lysere *granitt*.

Fagbegrep å notere seg (scientific terms for internet searches)

aluminium (aluminium, Al)

andesitt (andesite)

anion (anion)

atomer (atoms)

basalt (basalt)

binding (bonding)

biotitt (biotite)

blotning (outcrop)

dekompresjonssmelting (decompressional melting)

differensiering (differentiation)

dioritt (diorite)

felsisk (felsic)

gabbro (gabbro)

glimmer (mica)
granitt (granite)
granat (garnet)
grunnstoffer (elements)
gull (gold, Au)
hornblende (hornblende)
intermediære (intermediate)
jern (iron, Fe)
jernkatastrofen (iron catastrophe)
kalifeltspat (K-feldspar)
kalium (potassium, K)
kalsitt (calcite)
kalsium (calcium, Ca)
kartområde (map area)
kation (cation)
kløv (cleavage)
komatiit (komatiite)
kvarts (quartz)
mafisk (mafic)
magma (magma)
magmatiske (igneous)
magnesium (magnesium)
meteoritter (meteorites)
natrium (sodium, Na)
nikkel (nickel, Ni)
oksygen (oxygen, O)
olivin (olivine)
peridotit (peridotite)
periodesystemet (periodic table)
plagioclase (plagioclase)
posisjonsenergi (potential energy)
pyroksen (pyroxene)
ryolitt (rhyolite)
silikater (silicates)
silikatmineraler (silicate minerals)
silisium (silicon)
ultramafisk (ultramafic)
veiskjæring (roadcut)

7 Åpning av Atlanterhavet og de platetektoniske prosessene som ligger under (kenozoisk tid)

Fastlands Norge og *kontinentalsokkelen*, der havet er mindre enn 500 meter dyp, består alt sammen av *blandeskorpe*. Den er ca. 35 km tykk, og er gammel bergarter, eldre enn 250 millioner år gamle. Oppe på disse bergartene på fastland, ligger et tynt lag med løsmasser mange steder, som vi ble litt kjent med i kapittel 5. Og på kontinentalsokkelen ligger det tykke lag, opp til mange kilometer tykk, av *kenozoiske* og *mesozoiske* sedimentære bergarter. Det er i disse lagene at olje og gass forekomstene finnes. Vi skal diskutere dem mer i neste kapittel.

Nå skal vi se nærmere på *havskorpen*, som ligger utenfor sokkelen og over til Grønlands kontinentalsokkel. Husk at denne miniskorpen er alt sammen mafisk og er ganske tynn, ca. 7 km. Den er også ganske ung; yngre enn ca. 55 millioner år. De yngste delene, ved Island og langs den midtatlantiske ryggen, er mindre enn 1 million år. Her skal vi lese hvordan den oppstår.

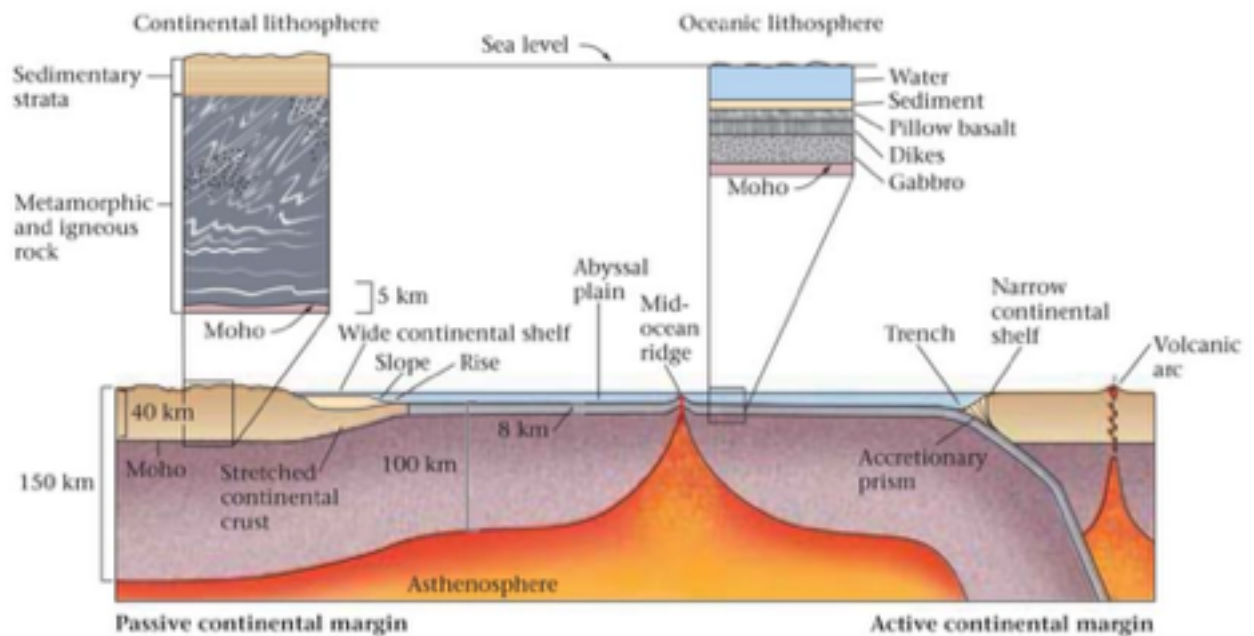
Atlanterhavets havskorpe dannes kontinuerlig med utvidelser langs den midtatlantiske ryggen. Grønland og Norge beveger seg vekk fra hverandre, med ca. 1 centimeter hvert år, og det er langs den midtatlantiske ryggen at det skjer. Krefter dyp i mantelen fører til at det åpner seg en sprekk midt på denne ryggen, og mafisk magma fyller sprekkene. Åpningen skjer stykkevis, på en uregelmessig måte. I stedet for å tenke at det beveger seg 1 cm. hver år alle steder, kan man heller tenke seg at det åpner et sted med 1 meter, med undervanns jordskjelv og vulkansk utbrudd, og så kan det vente 100 år før neste åpningen på denne delen av den midtatlantiske ryggen. I mellomtiden, åpnes det andre steder med ca. en meter.

Det åpnes fordi det er strømming og sirkulasjonsbevegelser i mantelen. Der det er steder som blir litt ekstra varm i mantelen, utvides bergarter og de blir litt lettere, og så stiger de. Andre steder i mantelen, der bergarter er kaldere, så synker de. Mantelen under den midtatlantiske ryggen stiger, og presser litosfæren på begge sider trekker vekk. Det er ikke bare stigning som presser litosfæren vekk fra midten, men også trekk vekk fra midten som drar mantelen opp der.

Når varme mantelbergarter stiger opp fra dybden, blir det mindre trykk som holder mineralene i solid fase, og derfor smelter de noe. Dette er dekompresjon smelting. Bergartene er ultramafisk, så når de smelter delvis, er magma som dannes mafisk i sammensetning.

Denne mafiske magma stiger raskt, og kommer opp gjennom sprekker som har oppstått. Basaltisk lava strømmer ut på havbunnen, og danner nye bergarter med putestrukturer. Utsiden av enkelte puter er lava som avkjøles så fort i kontakt med kaldt havvann, at det størkner til vulkansk glass. Inne i putene, avkjøles magma litt saktere, men fortsatt i løpet av noen timer, og der vokser det bitte små mineraler av plagioklas, olivin, pyroksen, og magnetitt, sammen med mafisk glass, om er typisk for basalt. Magma som ikke når overflaten, størkner inn i sprekker. Fordi at det størkner noe saktere, blir mineralene litt større, og det er ingen glass. Disse fylte sprekker er diabasganger. Enda dypere, størkner magma så sakte at det vokser mineraler flere millimeter i diameter, og da blir det gabbro.

Da får man lagdeling av miniskorpe: Øverst er det noen kilometer med putelava som kuttet av vertikale ganger. Under er det noen km med vertikale ganger som kutter andre ganger. Under det igjen er gabbro. Og alt samme er ca. 7 km tykk. Alle lag har samme mafisk sammensetning og mørk farge, men kornstørrelsene og teksturene er forskjellige.

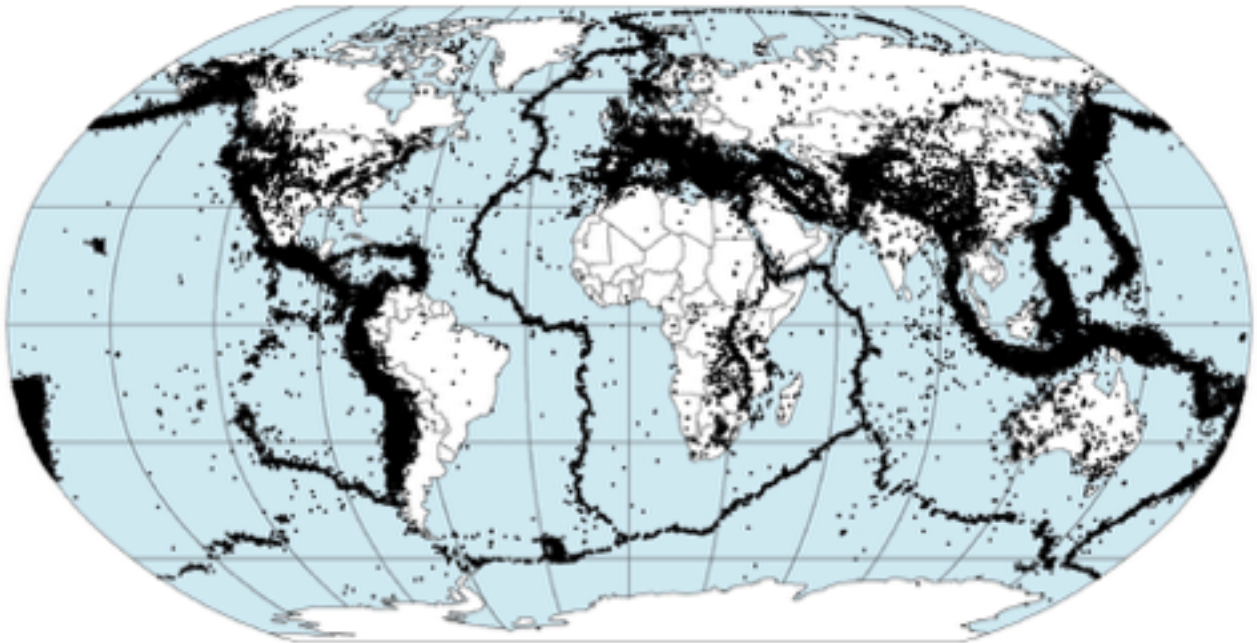


I mesozoikum var nesten all verdens kontinentalskorpe samlet i et "superkontinent" som geologer kaller for Pangæa. Den lå i den sørlige halvkloben, med Afrika liggende omtrent i midten, på Sørpolen. Så begynte Pangæa å gå i stykker i mesozoikum, og de nåværende kontinenter kom på sine plasser i løpet av kenozoikum. I begynnelse av tertiærtiden var det ingen Atlanterhav mellom Norge og Grønland. Atlanterhavet åpnet seg mellom de to landområdene, og den utvides fortsatt, med ca. 1 centimeter hvert år. Denne utvidelsen kan måles med GPS. Og man kan registrere mengdevis av små jordskjelv langs den Midatlantiske ryggen, der ny havskorpe dannes og havet utvider seg.

De fleste jordskjelv i Jorden forekommer langs bestemte linjer, som geologer kaller for platetektoniske grenser. Det er langs disse grensene at litosfæriske segmenter, eller plater, er i bevegelse i forhold til hverandre. Plater kan gå mot hverandre, eller fra hverandre, eller forbi hverandre. Der plater er i kontakt, blir det friksjon, og denne friksjonen er det som registreres som jordskjelv.

Små jordskjelv kan registreres hele tiden på Jorden. Her er et kart som viser punkter for 350000 jordskjelv som er registrert over 35 år. Det vil si, ca. 10000 jordskjelv hvert år, eller ca. 28 hver dag. Dette er de sterkeste jordskjelv. De minste er ikke tatt med.

Preliminary Determination of Epicenters 358,214 Events, 1963 - 1998



Man ser linjen med jordskjelvpunkter som går midt langs Atlanterhavet. Linjen kalles for den Midtatlantiske ryggen, fordi den er også en høyderygg på havbunnen. Havbunnen er et par tusen meter høyere der. Island er en del av denne ryggen, som står over havnivået.



8 Sedimentære bergarter og avsetningsmiljøer på den norske kontinentalsokkelen (mesozoisk tid)

Den mesozoisk tidsskala: hvordan håndtere en lang rekke med vanskelige navn
kull fra tropiske sumper og jungler (karbontiden)
salt og fordampningsbergarter (permtiden)
sandsteiner fra ørken sanddyner (triastiden)
sandsteiner fra forgrenete elver (triastiden)
sandsteiner og slamsteiner fra meanderende elver og flomsletter
sandsteiner og slamsteiner fra marin delta (juratiden)
petroleum fra organismer i marin slamstein (juratiden)
kalkstein og oppløsning av den (krittiden)

Norges olje- og gassforekomster ligger i bergarter av mesozoisk alder, og mange geologer jobber med dem. Det som er mest spennende for disse geologene er ikke oljen selv, men utfordringen med å tolke bergartene som disse petroleumforekomstene finnes i. Man skal kunne tolke, for eksempel, om et sandsteinslag ble avsatt i en ørken, en elv, eller en havstrand. Det er slike gåter som geologer trives med å løse, og petroleumbransjen er så lønnsom økonomisk at geologer har gode lønninger og driftsmidler for å jobbe med å løse slike oppgaver.

For å tolke gamle geologiske miljøer som er borte og bare representert av bergarter, må geologene først bli kjent med moderne miljøer, og hva slags bergarter de produserer. I denne kapittel skal vi gå gjennom de ulike avsetningsmiljøene som danner bergarter. Vi må se på prosessene som foregår og sedimentene og bergartene som dannes i de ulike miljøene rundt omkring i verden i dag.

Den mesozoisk tidsskala: hvordan håndtere en lang rekke med vanskelige navn

Men aller først i denne kapittel skal vi leke litt med vanskelige ord, i forbindelse med den detaljerte mesozoiske tidsskalaen. Der er det mange vanskelige navn. Geologer må ofte jobbe med lange rekker med aldersnavn eller formasjonsnavn, og de færrest geologer klarer dette på en tilfredsstillende måte. De har navnene skrevet på en liste et sted, og må se på listen når de vil vite rekkefølgen. Dette er fordi de aldri lærte hvordan å "skrive" en liste rett i hodet.

De finnes en kraftig hukommelsesteknikk, som gjør at man nesten kan skrive en lang liste i hukommelsen. Teknikken heter lenketeknikken og ble utviklet av en lege i 1850 årene. Man gjør navnene til bildeord, og man lenker bildene til hverandre med sprø aksjonsbilder.

Teknikken bør man helst lære i barneskolen, fordi å bruke den virker litt barnslig. Når man kommer opp i tenåringsalder uten å være vant til denne teknikken, virker det litt flau å starte. Dette kanskje tilsvarer det å lære et fremmedspråk med riktig aksent: det er best gjort som barn. Men det er bedre seint enn aldri, så her skal vi lære den.

Mesozoikum er delt inn i tre perioder, *trias*, *jura*, og *kritt*. Disse periodene er videre inndelt, og norske petroleumsgeloger bruker ofte den detaljerte inndelingen. Da er det godt å ha denne inndelingen klar i hodet, og kunne bare le av de vanskelige navn.

Her ser vi navnene, og forslag til bildeord som kan representere dem, og aksjonsbilder som kan lenke dem sammen i en kjede.

Mesozoikum	Kritt	Maastricht	
		Campan	
		Øvre	Santon
		Coniac	
		Turon	
		Cenoman	
	Undre	Alba	
		Apt	
		Barrem	
		Hauteriv	
		Valangin	
		Berrias	

Mesozoikum	Jura	Øvre	Tithon
			Kimmeridge
		Midtre	Oxford
			Callov
			Bathon
	Bajoc		
	Undre	Aalen	
		Toarc	
		Pleinsbach	
		Sinemur	
		Hettang	
		Raet	
	Trias	Øvre	Nor
			Karn
		Midtre	Ladin
Anis			
Undre		Olenek	
Indus			

Maastricht *mast-rike*, en skog av master
 Campan *kamphane*, med kniv på føttene
 Santon *sandtønne*, med sand som renner ut
 Coniac *konjakk* i *konjakkglass*
 Turon *tran* i *tranflaske*
 Cenoman *scenemann* (*skuespiller*)
 Alba *albuene*
 Apt *ape*
 Barrem *bar-reim*, en *gummireim* i en *bar*
 Hauteriv *hytte-rive*
 Valangin *hval-ungen*
 Berrias *jordbæris*
 Tithon *Titan kjempe*
 Kimmeridge *kammernisje*, *uthulling* i *veggen*
 Oxford *Oxford universitet*
 Callov *kalv*
 Bathon *politibatong*
 Bajoc *bajonett*
 Aalen *en lang elektrisk ål*
 Toarc *to ark med A4 papir*
 Pleinsbach *pleie ens bak, massasje*
 Sinemur *sinus-bølget mur*
 Hettang *høytang*, en *tang* som *klamper høy*
 Raet *ratt til en bil*
 Nor *nordlys*
 Carn *karneval*
 Ladin *ladingsapparat*
 Anis *anisfrø*
 Olenek *julenek*
 Indu *Hindu med turban*

For å huske rekken, må man ikke bare lese bildeordene, men man må stenge øyene og se hvert bilde i hodet. Man ser bare et bilde om gangen, og lenker den med neste bilde. Man skal ikke lage en logisk fortelling med disse bildene, men bare en kjede, som kan visualiseres både framover og bakover. Her starter vi ved toppen, og lenker bildene sammen:

Se et bilde av en *mast-rike*, en hel skog av høye master. (Maastricht)
 En *kamphane* sloss med en *mast*. *Masten* slår tilbake. (Campan)
 En *sandtønne* tømmer sand over en *kamphane*, som forsetter å slå mot *sandtønningen*. (Santon)
 Kostbar *konjakk* drypper ut av en *sandtønne* og inn i en *konjakkglass*. (Coniac)
 Man heller *konjakk* fram og tilbake mellom en *konjakkglass* og en grønn *tranflaske*. (Turon)
 En *scenemann* på en teaterscene drikker overdrevet av en *tranflaske*. (Cenoman)
 En *scenemann* på scenen blir angrepet med *albuene* av en person fra publikum. (Alba)
 De farlige *albuene* slåss mot en *ape*. (Apt)
Apen henger fra en *gummi bar-rem* der bar utstyr henger i en *bar*. (Barrem)
 På *bar-rem* henger det også en *hytte-rive*. (Hauteriv)
 Man tar *hytte-riven* og slår en *hval-unge* med den. (Valangin)
Hvalungen spiser *bæris*. (Berrias)
Bæris stjeles av en *titan kjempe*. (Tithon)

Titan bor i en *kammernisje*, en uthulling i kammerveggen. (Kimmeridge)
 Kammer og *kammernisjen* er på staselig *Oxford* universitet (Oxford)
 Ved *Oxford* universitet er det en *kalv* som foreleser og spretter foran tavlen. (Callov)
 En *kalv* blir slått av en *politibatong*. (Bathon)
 En *batong* slås med en *bajonett*. (Bajoc)
 En *bajonett* slukkes hel av en lang elektrisk *ål*. (Aalen)
 En elektrisk *aal* slår gnister i *to ark* med papir som den rulles oppe i. (Toarc)
To ark opprullet brukes til å *pleie ens bak*. (Pleinsbach)
 Man *pleier ens bak* ved å rygge opp imot en *sinus-mur*. (Sinemur)
 Man kaster høy og klemmer en *sinusmur* med en stor *høytang*. (Hettang)
 Man bruker en *høytang* for å styre et *bilratt*. (Raet)
 Et *ratt* uten bil kjører rundt i sirkler, belyst av *nordlys*. (Nor)
Nordlys belyser en stor *karneval* fest. (Carn)
 Folk på *karneval* får *lading* av apparater tilkoblet sine kostymer. (Ladin)
 Ut fra en *ladeapparat* under *lading* spretter det *anisfrø*. (Anis)
Anislakris med løse *anisfrø* er bundet sammen som en *julenek*. (Olenek)
 En *Hindu* mann i turban vifter med *julenek* i en seremoni. (Indu)

Med denne kjeden av merkelige bilder, kan man starte hvor som helst i listen, og gå framover eller bakover.

Fra alle disse mesozoiske tidsrom er det bergarter bevart under kontinentalsokkelen i Nordsjøen og i Barentshavet. Vi skal ikke gå i slik detalj her, men skal bli litt kjent med de mest tydelige sedimentære bergarter og sedimentære avsetningsmiljøene som bergarter viser til. Her er en oversikt over de viktigste bergarter og miljøer, og den geologiske tidene der man finner dem:

kull fra tropiske sumper og jungler (karbontiden)
 saltstein og fordampningsbergarter (permtiden)
 sandsteiner fra ørken sanddyner (triastiden)
 sandsteiner fra forgrenete elver (triastiden)
 sandsteiner og slamsteiner fra meanderende elver og flomsletter
 sandsteiner og slamsteiner fra marin delta (juratiden)
 petroleum fra organismer i marin slamstein (juratiden)
 kalkstein og oppløsning av den (krittiden)

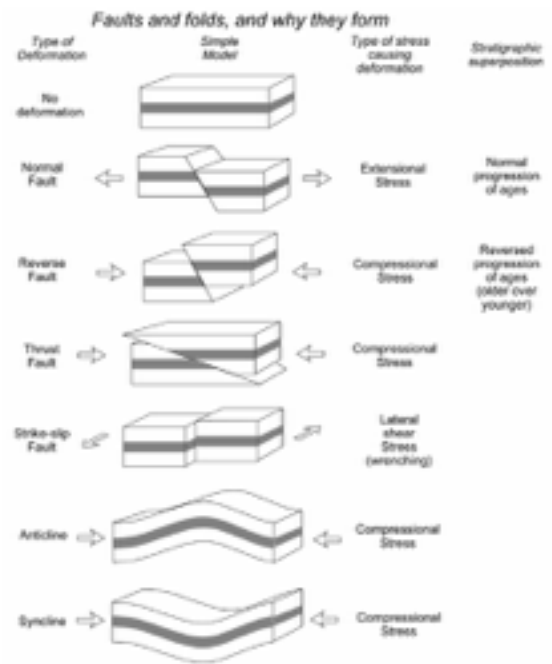
Kull fra tropiske sumper og jungler (karbontiden)

Kull er en organisk bergart, bestående mest av organisk karbon, rester fra planter som ble begravd av sand eller slam. Når store mengder med planter er begravd, blir plantemateriale presset flat og bevart, i stedet for å bli spist opp av sopp og mose og insekter, som vanligvis skjer når planter dør. I karbontiden, lå Norge og Europa i tropiske strøk, ikke langt fra ekvatorene. Store arealer med tropiske jungler lå omtrent ved havnivået. Når plantene døde, ble de liggende under nye planter, og ble ikke spist opp. Det bygget seg opp lag med mange meter med død plantemateriale, og når dette ble dekket over med yngre sedimenter av karbon og trias alder, ble de bevart.

Kull forekommer i lag som vanligvis er bare et par meter mektig. Et kull lag som er ca 2 meter mektig, var opprinnelig et lag som så mye som 10 meter mektig, før det ble presset av vekten på sedimentene som ble avsatt over. Bilder av typiske kull lag med andre sedimentære bergarter over og under finner du på internet med søkeord "coal seam."

Kull kan dannes fra tropisk skog eller fra torv myr, i kald klima slik som Norge har i dag. Kull i Nordsjøen har fossiler av tropiske planter og trær, og er en del av beviset for at Norge og Nordskjøen lå omtrent ved ekvator i karbontiden. Man kan lure på om det var jungelplanter over deler av Norge til samme tid. Kanskje var det kull her, som nå er blitt fjernet ved erosjon. Det er bare bergarter fra øverste karbon bevart på fastlands-Norge, og det er i Oslofeltet. Der er det noen få plantefossiler (bregner), men de er sjelden og det er ikke noe sted hvor det var en slik mektighet at det ble kull lag.

9. Deformasjon og jordskjelv

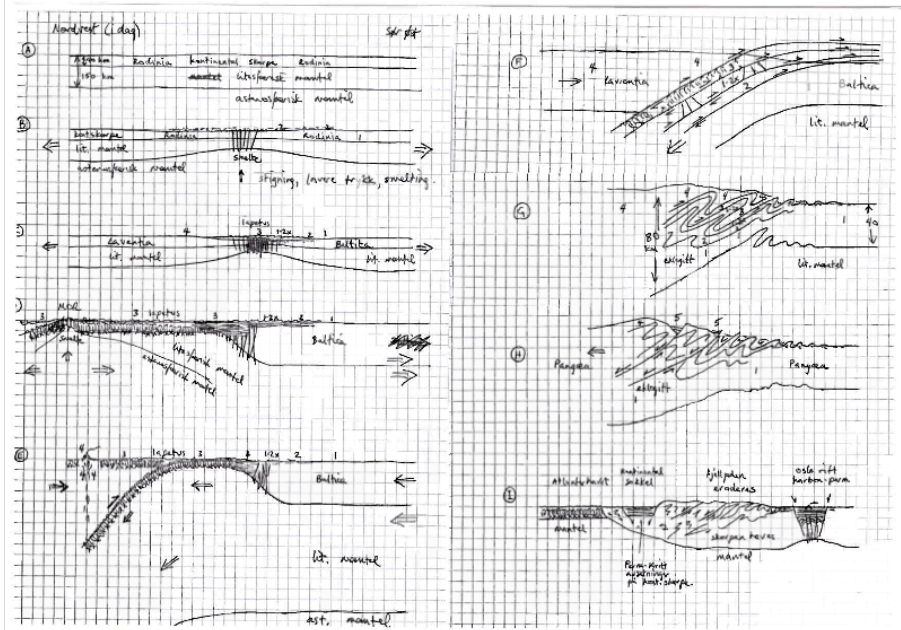
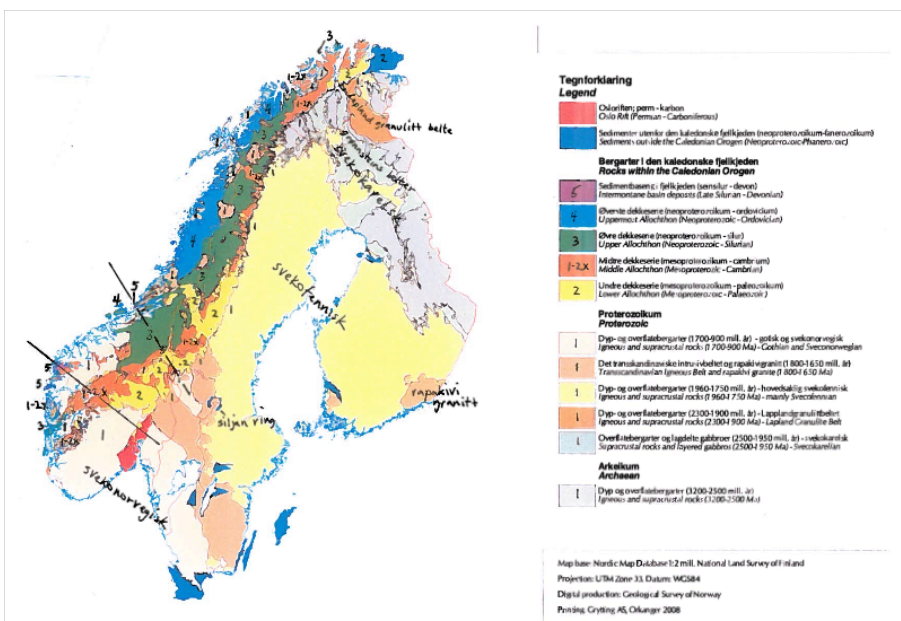


h

10 Den kaledonske fjellkjedens dannelse og kollaps (sen prekambrium - devontiden)

Senprekambrisk snøballjord, stratigrafi i Varanger og Østafjells, Seilandkomplekset, diabasganger i metasandsteiner, og kontinentalrifting Iapetusminiskorpe med turbiditter. Leka, Lyngen, og andre ofiolitter
 Stratigrafi i Oslofeltet, fossiler, regresjon med kalksandstein, Ringerike sandstein.
 Kontinentkollisjon med kompresjonsforkastninger (skyvning), foldning, regionalmetamorfose.
 Fjellkjedekollaps med ekstensjonsforkastninger

Oppsummering. En måte å presentere vår geologisk forståelse på, er å bruke en enkel geologisk kart over Norge. I forhold til dette kartet, kan vi bruke vertikale snitt gjennom skorpen, som viser hvordan skorpen utviklet seg gjennom de ulike tidene i dens utvikling.



Snitt A ca. 700 millioner år siden

I sen prekambrisk tid var all verdens blandeskorpe samlet som ett kontinent, og geologer kaller dette tidligere kontinentet for Rodinia. Det lå i nærheten av ekvatorene. Resten av kloden var dekket av miniskorpe. De fleste bergarter i kontinentet var allerede over tusen millioner år gammel på den tid, og de hadde opplevde mye fra før. Men deres historie tar vi ikke nå. Det holder å si at blandeskorpen var ca. 35 km tykk, og lå oppe på mantelen, slik som blandeskorpe gjør i dag.

I snitt A ser vi den delen av Rodinia som er aktuell for Norges videre utvikling. Det var ingen høye fjell i vår del av Rodinia. Et norsk begrep for blandeskorpe av prekambrisk alder er "grunnfjell."

Snitt B ca. 650 millioner år siden

Grunnfjelllets bergarter er merket 1 på det geologiske kartet og i snittene. Landskapet var temmelig flatt, og det rant mange elver som tok med seg elvesand. Denne sanden ble avsatt mange steder, og ble herdet til sandsteiner. Disse senprekambriske sandsteiner er merket 2 på kartet og i snittene.

Det ble også avsetninger fra isbreer. Isbreavsetninger kan finnes i dag bl.a. i Moelv, i nord Troms, og i vest og øst Finnmark. Det virker som det lå isbreer over hele Rodinia og hele kloden, og dette fenomenet kalles for snøballjord. Geologer jobber med å forstå og forklare dette bedre. Astronomer mener at fordi vår sol var yngre, var dens varmestråling ca. 10% mindre enn den er nå. Jordens atmosfære var også annerledes. Mange mulige årsaker til snøballjord diskuteres.

Krefter dyp i mantelen satt litosfæren ved Rodinia under horisontal strekk. Litosfæren ble tynnere noen steder og det oppsto vertikale sprekker. Steder der litosfæren sprekker opp på grunn av strekning kalles for riftsoner. Kontinentoverflaten sank litt ned ved denne riftsonene. I nedsenkningene kom det inn havvann. De ble avsatt sand både på land og under havvannet, og disse sandlagene ble opp til flere tusen meter tykk. Vi ser dem i dag som sedimentære bergarter bl.a. i ytre Varangerhalvøya og i Gudbrandsdalen. Også disse er merket 2.

På grunn av tynnere skorpe ved riftsonene, steg mantelen litt, og begynte å smelte. Her er hvordan dette fungerer: Mantelbergarter er nesten varm nok til å smelte, men på grunn av høy trykk fra overliggende mantel og skorpebergarter, holdes bergartene i solid form. Trykk holder atomene fast (solid) og tillater ikke at de løsner fra hverandre (smelte.) Men når mantelbergarter stiger, blir det blir mindre trykk på dem. Da smelter de delvis, og smeltet eller magma stiger opp og fyller fylte sprekkenes som holdt på å åpne seg. Disse magmafylte sprekker kaller vi for "ganger." De er mørke og kutter det lysere grunnfjellet og sandsteinene som lå oppe på. Det ble tusenvis av mørke ganger, som finnes i midtre og nordlige Norge og Sverige, for eksempel i skifersteinbruddene i Oppdal og i Alta

Snitt C

Gangene fylte vertikale sprekker som oppsto i det prekambriske grunnfjellet (1) og de sen prekambriske sedimentære sandsteiner (2) som lå oppe på. Det ble så mye strekning og så tett med ganger, at gangene fylte sprekker i andre ganger. Dette kalles for "ganger-i-ganger", og er begynnelsen til ny miniskorpe. Blandeskorpen trakk seg vekk og det var ingen slike bergarter igjen i riftsonene. Havvann trengte inn i disse lavtliggende riftsonene. Mer smelte kom fra mantelen. Nå er det ikke blandeskorpe lenger, men nydannet miniskorpe. Magma som

størknet i sprekker under overflaten ble til ganger. Magma som kom helt opp og rent ut i havvannet, ble til basaltisk putelava. Magma som størknet dypt nede, under gangene, ble til mørk gabbro. Miniskorpe består av nettopp dette: mørk putelava på toppen, mørke ganger under dette, og mørk gabbro under gangene.

Superkontinentet Rodinia hadde nå delte seg i mindre kontinenter separert av smale rifter fylt med miniskorpe under havvann. Det ble flere av disse smale havene, men havet som er viktig for Norges utvikling kalles for Iapetushavet. Nå kan ikke navnet Rodinia brukes lenger. De to motsatt sidene av Iapetushavet kalles for Laurentia i vest og Baltica i øst. Denne paleogeografien ofte sammenlignes med dagens geografi: Atlanterhavet, med Grønland i vest og Norge i øst. Men kontinentene var i stor grad annerledes, og havet var helt annerledes, så navnene Laurentia, Iapetus, og Baltica må heller brukes.

Snitt D

I tidlig kambrisk tid var Iapetushavet og dens miniskorpe smal. Fossiler viser at de samme dyrearter levde langs kysten på begge sider av det smale havet. Havet var smal nok for dem å krysse. Men etter hvert ble Iapetus et så bredt hav at vi finner forskjellige fossil arter (spesielt trilobitter og brachiopoder) på de to motsatte sidene. Havet var da så bredt at bare Balticas kyst kan vises i snitt D. Laurentia er langt vekk til venstre.

Snitt E

Senere i ordovicisk tid, ble vestlige deler av miniskorpen kaldere og tyngere, og begynte å synke ned under Laurentia, en prosess som kalles for subduksjon. Mye av Iapetus miniskorpe, med sine gabbroer, ganger, putelaver, og sedimenter, gikk ned. Baltica ble da trukket mot Laurentia. I dag har jordkloden aktiv subduksjon i Stillehavet, i Det indiske hav, og i Det karibiske hav.

Havsedimenter og putelava er gjennomvått med havvann, og når disse bergartene presses ned, kommer det ut vann som bidrar til at noe av mantelen og de subduserte bergartene smelter. Dette magma er litt lettere enn solide bergarter og stiger opp over subduksjonsonene. Magma som kommer helt til overflaten skaper vulkaner, og mye av magma størkner nå vei oppover og danner nye granitter. I dag dannes slike vulkaner og granittiske bergarter rundt helle Stillehavet: i Japan, Filippinene, Andesfjellene i Søramerika, og i Nordamerika langt opp til Alaska.

I sen ordovicisk tid, ca. 450 Ma siden, var det slik magmatisk aktivitet på den Laurentia-marginen til Iapetus, men ikke på den Baltica-marginen. Subduksjonen gikk ned i retning Laurentia og ikke ned under Baltica. Denne magmatisme i Iapetushavet og kanskje langs marginen til Laurentia er merket 4 i snitt E.

Snitt F

Det meste av Iapetus miniskorpe og havsedimenter forsvant med subduksjonen. Men noen steder ble det heller skyvet opp på land. Disse delene nå finnes i dag fra Stavanger i sør, til Bergen, Trondheim, Troms, og Nordkapp i nord. Miniskorpebergarter som er skjøvet opp og ligger nå på blandeskorpe kalles for ofiolitter, og disse bergartene er merket 3 på kartet og snittene.

Ikke bare miniskorpen, men også de magmatiske bergarter fra subduksjonen ble skjøvet, da Laurentia og Baltica kom sammen i en kontinental kollisjon. Her ble bergarter fra områder som lå ved siden av hverandre skjøvet opp på hverandre. Det ble mange skyveflakk, som grupperes i det vi kaller dekkeserier. Det er fire av dem. Den øverste er Laurentia-dekkeserien, merket (4) på kart og snitt. Den ble skjøvet over Iapetus-dekkeserien (3). Den ble skjøvet over den Baltica-margin-dekkeserien (2). Og den ble skjøvet over Baltica (1).

Den øverste dekkeserien (merket 4) er rik på marmorert og subduksjonsgranitter som kom fra den andre siden av Iapetushavet da det lukket seg. Disse bergartene er beslektet med Laurentia og ikke Baltica. Den øvre dekkeserien er restene av Iapetus miniskorpe, som er merket 3. Under den ligger den midtre dekkeserien, som består av Baltica grunnfjell og sedimenter, kuttet av sen prekambriske diabasganger. Jotunheimens grunnfjell (1x) og sandsteinene i Gudbrandsdalene og Østerdalen (2) hører delvis til midtre, og delvis til nedre som ikke ble kuttet av diabasgangene da Rodinia riftet. Også i Nord Troms og vest Finnmark er det store arealer av grunnfjell og sandsteiner, med og uten ganger. Deler av Baltica grunnfjell og sedimenter som ikke ble skjøvet under kollisjonen kalles for stedegne grunnfjell.

Det er uttalige mange skyvegrensener i Norge, men de kan grupperes i disse dekkeseriegruppene. Det er klart at Norges bergarter ble dannet på ulike plasser, og så skjøvet opp på hverandre under kollisjonen mellom Laurentia og Baltica i silurtiden, for ca 410 millioner år siden. Andre kollisjonsfjellkjeder i verden også inneholder slike sammensatte bergarter, men det som er litt spesielt i Norge er at de ble liggende opp på hverandre, og ikke ved siden av hverandre. Vi kaller dette for en tektonostratigrafi. En stratigrafi, som i Grand Canyon, er en sekvens av horisontale lag eller strata, og tektono betyr at det er bygget opp av krefter fra nede i jordkloden.

Norge har kanskje verdens best kjente tektonostratigrafi. Den representeres av de tynne linjene til toppen på høyre av snitt F. Skyvning over hele Norges lengde var hovedsakelig mot øst og sørøst. Tegningen viser at bergartene er skjøvet over Baltica, fra vest til øst. Det virker som bevegelsen begynte i vest og utviklet seg nedover og østover med tiden. Den siste skyvebevegelsen var lengst i øst, ved Oslo.

Man kan oppsummere denne tektonostratigrafien ved å si at Iapetus miniskorpebergarter ligger i midten. Over dem er bergarter fra Laurentia siden, og under er bergarter fra Baltica siden.

Snitt G

Etter disse tektonostratigrafiske dekkeserier ble skjøvet opp på hverandre, ble de også foldet. På den ytergrensen av kollisjonssonen i øst, for eksempel i Oslo og i Sverige, var foldene svake, og bergartene ble ikke særlig omdannet. Men i vest Norge, mer i sentrum av kollisjonen, var det enorme folder som snudde bergartslagene i alle retninger, også opp-ned. De fleste bergarter i Trondheimsfeltet og i Jotunheimen er snudd mer eller mindre opp-ned på grunn av store liggende folder. Bergartene ble presset ned og varmet opp og endret gjennom metamorfose: leirskifer og sandstein ble til glimmerskifer og glimmergneis; kalkstein med fossiler ble til grov krystalline marmorert uten fossiler; lavabergarter og granitter ble til ulike gneiser. Nesten alle bergarter ble fullstendig endret.

En kontinentalkollisjon kan sammenlignes med en tog kollisjon. Det er foran i togene at ting ble mest oppvarmet, presset, og folk blir drept. Bak i toget er det ikke så stor skade. Indre Finnmark, vestlige Sverige, og spesielt Oslo-området var bak i toget, og der ble foldningen

minimalt, og oppvarmingen ubetydelig. Det finnes lett gjenkjennelige sedimentære bergarter og mange fossiler der. Kyst Norge, fra Troms til Stavanger, var foran i kollisjonstoget, og de fleste sedimentære bergarter ble metamorfoserte og de fleste fossilene ødelagte.

Når kontinenter kolliderer, blir skorpen tykkere. Det er på grunn av skyvning og foldning, der lagene blir skjøvet opp på hverandre, og doblet og tredoblet. Skorpen presses ned mot mantelen, og opp i luften. Kollisjoner skaper får høye fjell, som Alpene, som er en pågående kollisjon mellom Afrika-Europa-skorpen, og Himalaya, som er en pågående kollisjon mellom India-Kina-skorpen.

Da Baltica-Laurentia kolliderte for ca. 400 Ma siden, dannet det klodens høyeste fjell til den tid, i det som i dag er vest Norge. Skorpen var dobbel så tykke som vanlig, ca. 80 km tykk. Av dette var ca. 10 km av skorpen over havnivået, og ca 70 km under havnivået, som i Himalayafjellkjeden i dag.

Snitt H

En kollisjon danner høye fjellkjeder, men etter kollisjonspresset tar slutt, er fjellkjeder ustabile på grunn av gravitasjon. Det er nesten som brøddeig som ligger på et bord. Man kan presse det sammen med hendene, men når man slipper presset, vil brøddeigen sige ut til sidene. Tykke bergartsmasser i fjellkjeder skorpen glir ut og nedover. Vi kaller dette for fjellkjedekollaps. I Norge oppsto det forkastninger i devontiden, der bergartene seig ut mot vest og sørvest. Det var som om hånden fortsatt holdt brøddeigen på plass i øst. Det oppsto dype åpne fjelldaler, og disse ble fylt med nye avsetninger i samme hastighet som de åpnet seg. Disse sedimentære bergarter utgjør devonfeltene (5). I sand og slamsteinene, finnes det fossiler av landplanter, som var noen av de første som utviklet seg på verdens landoverflater.

Snitt I

I karbon tid var alle kontinenter igjen samlet i en superkontinent som geologer kaller for Pangæa. Rodinia, Laurentia, Iapetus, og Baltica var ikke lenger geografiske enheter.

I sen karbon tid, lenge før Atlanterhavet hadde begynt å åpne seg, ble det bevegelser i mantelen under Oslo som nesten åpnet et nytt hav der. Det utviklet seg en betydelig kontinental rift i karbonperm tid, som laget det berømte Oslofeltet. Blandeskorpen ble tynnere der, og de svake foldete og fossilrike sedimentære bergarter fra kambrium, ordovicium, og silur sank litt ned langs ekstensjonsforkastninger.

Det kom mørke ganger opp fra mantelen, og andre gangtyper, med lysere farger. Det ble mengdevis med lava strømmer. Disse ble mange sirkulære vulkaner, og noen av dem kollapsete på merkelige måter. Det steg opp magma som størknet til mange ulike typer granitter, og varmen fra dem påvirket bergarter i flere kilometer rundt seg.

Men det ble ingen ny hav av denne utstrakt kontinentalrift. Ekstensjonen og magma tilførselen fra mantelen stoppet opp i slutten av perm, og kontinentalriften utviklet seg ikke videre.

Den kollisjonsfjellkjeden som preget Norge i silurtid strakte seg til Skottland. Det kalles for den kaledonske fjellkjeden, fordi Caledonia var den latinske navn for Skottland. Fjellkjeden mellom Norge og Skottland ble erodert til et flatt sletteland, noen steder over havnivået og noen steder under. Der ble det avsatt mange kilometer med leirstein, sandstein og kalkstein.

Mikroskopiske havorganismer ble begravd av havleire i noen av disse sedimentene, og det er disse som utviklet seg til petroleumsressursene.

Mye senere åpnet det et nytt hav, Atlanterhavet. Først nå er det riktig å snakke om Grønland og Norge. Deler av blandeskorpen ligger noen hundre meter under havnivået, og kalles for kontinentalsokkel, for eksempel Barentshavet, Nordsjøen, og Norskehavet.

Omtrent den øverste halvparten av den 80 km tykke skorpen ble erodert og avsatt som nye sedimenter andre steder. Nå er den kaledonsk fjellkjeden i Norge tilbake til en normal skorpetykkelse, ca. 40 km.

I vest Norge ser vi et dypere snitt gjennom en fjellkjede enn det man har i Alpene og Himalaya. Det gjør vest Norge til et viktig geologisk modell for geologer som vil forstå dype deler av jordklodens fjellkjeder.

Devonfeltene er bare de nederste restene av mye store felter. De gjenstår som en modell for hvordan en fjellkjede kan kollapse.

Oslofeltet er en verdenskjent modell for en kontinental rift, der et par kilometer av riftbergartene er fjernet med erosjon, og granitter, lavaer, og sedimentære bergarter er godt bevart.

Kontinentalsokkel er en utfordring, fordi det er mange tusen meter med spennende bergartslag, og alt ligger under noen hundre meter med vann. Geologer må undersøke med å sende signaler ned i bergarter og registrere hvordan signalene reagerer. Og man tar opp kjerner fra boring, mange tusen meter ned. Det er kostbar, men svært lønnsomt pga petroleumsverdiene. Og det er spennende fordi det er alltid ny geologisk kunnskap å hente.

Paleogeografiske steder (urgammel-geografiske steder) er kjent for de som studerer og jobber med geologi.

Rodinia: superkontinent i sen prekambrisk tid. Navnet kommer fra russisk for moderland.

Iapetus: havet som eksisterte fra kambrium til ordovicium. Navnet kommer fra Iapetus, en mytologisk gresk gud. Iapetus var faren til Atlas, som navn vi har Atlanterhavet fra. Derfor brukte geologer navnet Iapetus for havet som var "faren" til Atlanterhavet.

Baltica: kontinentet på en side av Iapetus. Navnet kommer fra de baltiske statene.

Laurentia: kontinentet på den andre siden av Iapetus. Navnet kommer fra et fjellområde i Canada, som er nord for den store St. Lawrence elv.

Kaledonidene: fjellkjede fra silurtiden, som kan sammenlignes med de moderne fjellkjedene Alpene og Himalyene. Navnet kommer fra Caledonia, som er latinsk for Skottland.

Pangæa: superkontinent i karbon-perm tid. Navn betyr "all land"

Kambrium:

Ordovicium

Silur

Devon

Her er en liste over alle silikater som vi skal diskutere. Det er disse som er viktig for dannelse av bergarter og for forståelse av geologi:

Silikater (dominerende mineraler, som inneholder SiO_4 enheter)

kvarts (engelsk søkeord for flere internettbilder: quartz) SiO_2 hardhet 7, ingen kløv, ofte gjennomsiktig eller glassgrå eller hvit

kalifeltspat (K-feldspar) KAlSi_3O_8 feltspatgruppe, hardhet 6, ofte rosa, 2 kløv.

plagioklas (plagioclase) $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ feltspatgruppe, med variasjoner mellom Ca-rik og Na-rik, hardhet 6, ofte hvit, 2 kløv, tvillingstriper synlig med lupe

olivin (olivine) MgFeSiO olivengrønn, ingen kløv, forekommer aldri sammen med kvarts, ustabil ved metamorfose eller forvitring, derfor sjelden i jordskorpen. hovedmineral i mantelen.

pyroksen (pyroxene) svart, 2 kløv ca. 90 grader

hornblende (hornblende) amfibolgruppe svart, 2 kløv ca. 60-120 grader, vann i formelen

aktinolit (actinolite) amfibolgruppe grønn, 2 kløv ca. 60-120 grader, vann i formelen

biotitt (biotite) glimmergruppe, svart men forvitrer brun, 1 kløv, Fe-, Al-, og K-rik, vann i formelen. metamorft indeksmineral

muskovitt (muscovite) KAlSiO OH glimmergruppe, fargeløs eller sølvaktig, 1 kløv, Al- og K-rik, vann i formelen

kloritt (chlorite) glimmergruppe, Mg-Fe rik, vann i formelen, metamorft indeksmineral

talk (talc) glimmergruppe, glatt på fingrene pga. hardhet 1, vann i formelen, forekommer ofte med serpentin og asbest

serpentin (serpentine) Mg-rik grønn, svart, blågrønn, vann i formelen, orange forvittringshud.

epidot (epidote) olivengrønn, ferromagnesian, vann i formelen, i grønnskifer og lavmetamorfe ba.

granat (garnet) 12-sidig krystaller, alltid metamorf (ikke magmatisk), metamorft indeksmineral

andalusitt (andalusite) Al_2SiO_5 lav temperatur og lav trykk polymorf

kyanitt (kyanite) Al_2SiO_5 blå krystaller, høy-trykk polymorf, metamorft indeksmineral

sillimanitt (sillimanite) Al_2SiO_5 hvit fiberaktig, høy-temperatur polymorf, metamorft indeksmineral

staurolitt (staurolite) metamorft indeksmineral i glimmerskifer

zirkon (zircon) ZrSiO_4 radioaktive pga. litt U, motstandsdyktige krystaller nyttige for datering.

Det finnes også mange mineraler som ikke er silikater, men det er langt mer sjelden. Det er merkelig at mer enn 99% av mineraler i skorpen og mantelen er silikater, men de aller fleste mineralnavn og mineraltyper er ikke-silikater. Ikke-silikater er nydelig å se på, spennende å samle på, og har verdifulle grunnstoffer i seg. Men man trenger ikke bli kjent med mange av dem for å forstå ganske mye geologi. Her er noen ikke-silikater som er interessant, vanlig, eller viktig:

Ikke-silikater (som kan ha alt annet enn Si)

diamant (diamond) ren C, dannes ved ekstrem høy trykk, verdens hardest mineral

grafitt (graphite) ren C, dannes ved vanlig trykk, et av verdens mykeste mineraler. kan tegne på papir som blyant,.

gull (gold) ren Au, myk, tung, og ruster ikke.

pyritt/svovelkis (pyrite) FeS_2 gullfarget men hard, kubiske krystaller, oksiderer til rust-rød

chalkopyritt/kobberkis (chalcopyrite) CuFeS_2 ligner pyritt men oksiderer til blågrønn

magnetitt (magnetite) Fe_3O_4 metallisk, magnetisk

hematitt (hematite) Fe_2O_3 metallisk blåsvart eller rustrød, gir rødbrun strek, derfor ble tidligere kalt "blod-jernglans"

kalsitt/kalkspat (calcite) CaCO_3 3 kløv, bruser med saltsyre

dolomitt (dolomite) Ca-MgCO_3 3 kløv, bruser ikke med saltsyre, men pulver bruser

gips (gypsum) $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hardhet 2, vann i formelen, dannes ved lav temperatur

steinsalt (rocksalt) NaCl , 3 kløv, kubisk, lav egenvekt,

For å samle alle de viktige mineralnavn og bergartsnavn på ett sted, her er lister over bergartene som vi skal bli mer kjent med etter hvert:

Magmatiske bergarter (som størkner fra magma)

granitt (granite) har mye K-feltspat i tillegg til plagioklas, kvarts, biotitt, kanskje hornblende eller muskovitt

dioritt (diorite) ingen K-feltspat, lite kvarts, mye plagioklas, hornblende, kanskje biotitt, ikke muskovitt

gabbro (gabbro) Ca-plagioklas plus pyroksen eller hornblend, ofte med litt olivin

peridotitt (peridotite) olivin og ofte pyroksen, ultramafisk- dvs. kun mafiske mineraler (ingen feltspat eller kvarts)

trondhemitt (trondhemite) hvit granitt, pga. mangel på rosa kalifeltspat.

larvikitt (larvikite) granittisk bergart med glinsende plagioklas krystaller

syenitt (syenite) granitt med lite eller ingen kvarts pga høy K+Na og lav SiO_2 , vanlig i kontinentale rifter

anortositt (anorthosite) består bare av Ca-plagioklas, dannet i prekambrium, også Månens lys skorpe, beslektet med gabbro

diabas (diabase) / mafisk gangbergart, kanskje olivin, plagioklas, pyroksen

aplitt (aplite) felsisk finkornet gangbergart. restsmelte etter at granitter har størknet, fyller sprekker som aplittganger

pegmatitt (pegmatite) felsisk grovkornet granitt, krystaller er mange centimeter store, pga H_2O (selv om det avkjøles fort!)

ryolitt (rhyolite) lava med høy SiO_2 og høy viskøsitet, ofte pyroklastisk (ryolitt-aske heter tuff/tuffitt), kanskje synlig kvarts

andesitt (andesite) ofte fenokrystaller av hornblende, vanligvis uten kvarts,

basalt (basalt) ofte fenokrystaller av olivin eller Ca-plagioklas eller pyroksen, alltid mørk

komatiitt (komatiite) ultramafisk lava, dannet bare i prekambrium da kloden var litt varmere

pimpstein (pumice) (engelsk "pumice") felsisk eller intermediære lava som flytter på vann pga blærerom,

obsidian (obsidian) felsisk/intermediære vulkansk glass (mafisk glass heter takylitt) sort farge, selv om den er felsisk

rombeporfyr (rhomb porphyry) intermed. lava med plagioklas fenokrystaller, samme magma som larvikitt, kun perm alder i Oslo

breskje (volcanic breccia)

Sedimentære bergarter (som er avsatt av vann, is, eller vind)

sandstein (sandstone)

siltstein (siltstone)

leirstein (claystone)

leirskifer (shale)

siltstein (siltstone)

konglomerat grus/stein-størrelse korn, mest vanlig er kvartsboller (kvarts rullestein) pga motstandsdyktighet

breksje (sedimentary breccia) konglomerat med kantete stein pga kort transport , kvartsboller mer skjelden

tillitt (tillite) herdet till, avsatt av isbreer, lite avrundete korn, usortert, ikke lagdelt, store korn i leire-matriks

kvartssandstein (quartz sandstone) kvarts sandkorn og kvartssement, ofte rød pga litt hematitt, kalles ofte kvartsitt

arkose (arkose) ofte rød pga litt hematitt, heter sparagmitt hvis norsk senprekambisk

gråvakke (greywacke) umoden, uren sandstein, dvs. blanding av korn og leire og ustabile mineraler, grå eller grønn

litisk sandstein (lithic sandstone) sand med noen få bergartskorn ("lit"-isk) i tillegg til vanlige mineralkorn, veldig umoden

slamstein (mudstone) heter ofte leirskifer. mørk farge, rød hvis Fe er oksidert, grønn hvis Fe redusert Al-rik

svartskifer (leirskifer som gir svart strek pga. høy karboninnhold , alunskifer

mergel (marl) kalkholdig leirstein eller leireholdig kalkstein

kalkstein (limestone) består av kalkspat, CaCO_3 hvit, grå, brun, rød. Riper ikke glass, bruser med HCl, ofte fossiler

dolostein (dolostone) heter ofte dolomitt. Mg-holdig kalkstein, pulver bruser med HCl, men ba. bruser ikke.

krittstein (chalk) kalkstein som består av mikrofossiler (coccoliter), hvit strek

travertin (travertine) kjemisk kalkstein, fra varme kilder eller dryppstein i grotter

chert (chert) chert er fellesbetegnelse for mikrokrystalling kvarts med litt H_2O . vanligvis grå

flint (flint) grå eller svart chert

jaspis (jasper) rød chert

kvartsbåndet jernmalm (banded iron formation) prekambrium, kjemist utfelling av hematitt eller magnetitt og chert

kull (coal) organisk karbonbergart, mest i karbon-perm tid, dannet av planterester.

saltstein (salt rock) lett, rosa eller hvit, smaker ofte bitter, pga. Mg- eller K-salter i tillegg til Na-salt

Metamorfe bergarter (som er omdannet fra andre bergarter)

skifer (slate) upresist norsk begrep, bergart som kan brukes til skiferplater pga. ba.-kløv, foliasjon

fyllitt (phyllite) av metamorf leirskifer med usynlig glimmer, vannholdig (pga glimmer), Al-rik

glimmerskifer (schist), grovere enn fyllitt med synlige glimmermineraler, vannholdig (pga glimmer), Al-rik

gneis (gneiss) oftest med lyse og mørke lag pga metamorf differensiering, vanligvis feltspat-holdig

kvartsitt (quartzite) metamor kvartssandstein, men ordet brukes også for umetamorfe kvartssandstein som er velsementert

meta-arkose (meta-arkose) kvartsskifer, lys helleskifer fra metamorfosert og foliert arkose, kalifeltspat, kvarts, litt muskovitt

serpentinitt / ultramafitt / kleberstein, myk ofte glatt pga talk, ofte med rød forvittringshud, vannholdig

marmor (marble) metamorf kalkstein, ofte hvit, men mange farger mulig. kalkspat-marmor mer vanlig enn dolomitt-marmor

kalksilikatbergart (calcsilicate rock) mergel er protolitt, ligner grønnaktig amfibolitt, ofte med Ca-plag, Ca-granat, diopsid

grønnstein (greenstone)

grønnskifer (greenschist) grønn pga kloritt, aktinolitt, epidot, vannholdig, metamorfoisert basalt, diabas eller gabbro

amfibolitt (amphibolite) hornblende og plagioklas, svart og hvit, lite eller ingen kvarts, vannholdig

granulitt (granulite) svart pyroksen, granat og plagioklas (uten glimmer/amfiboler fordi disse har H₂O og er ustabil)

eklogitt (eclogite) grønn pyroksen, rød granat dette er høytrykksmetamorfoisert basalt, diabas eller gabbro

hornfels (hornfels) kontaktmetamorft metasediment. vanligvis metaleirstein, der man ser sedimentær lagning, skarpe bruddspiss

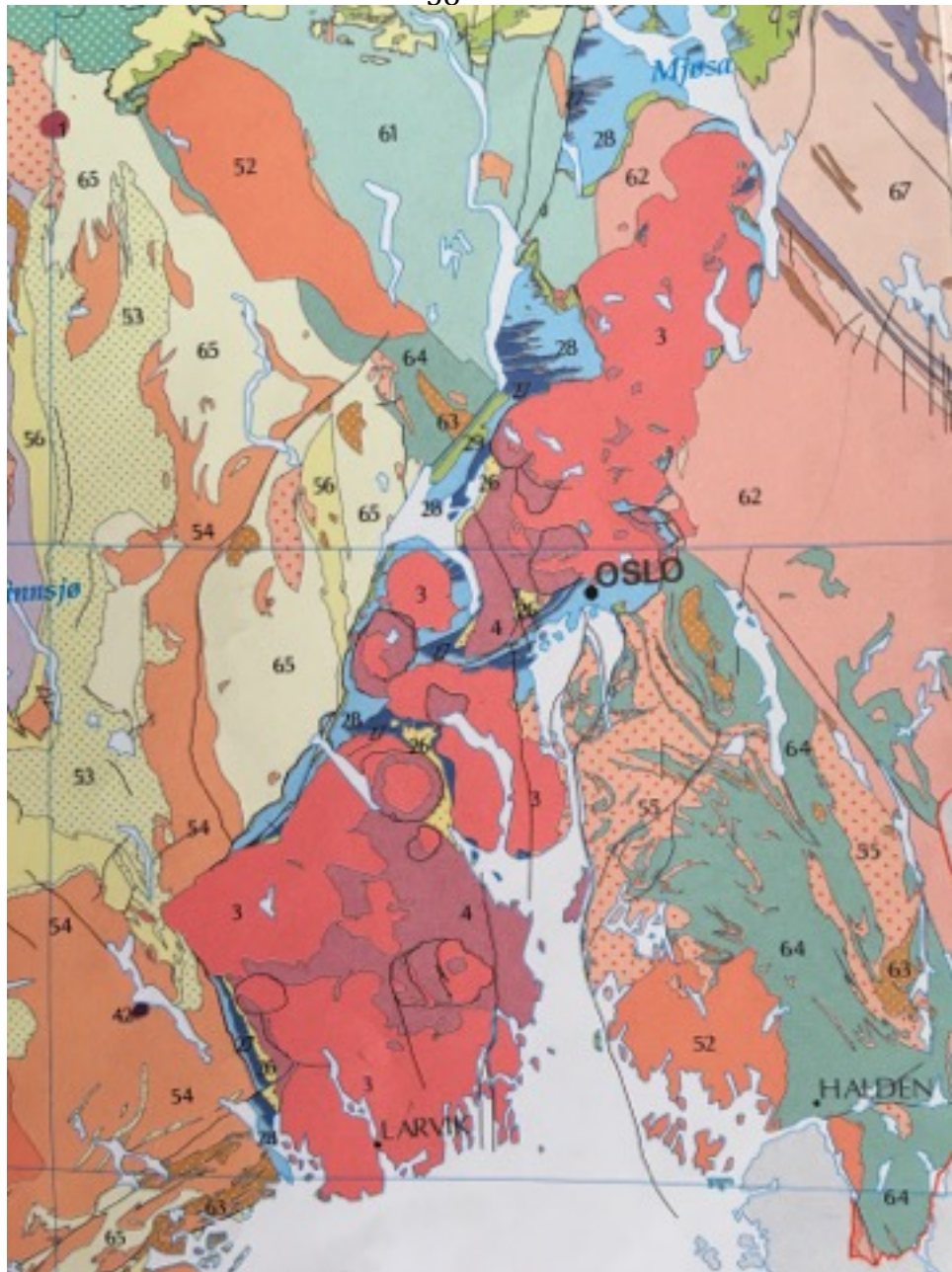
mylonitt (mylonite) forkastningsbergart med foliasjon, med friksjonsreduert kornstørrelse i forhold til gneiser.

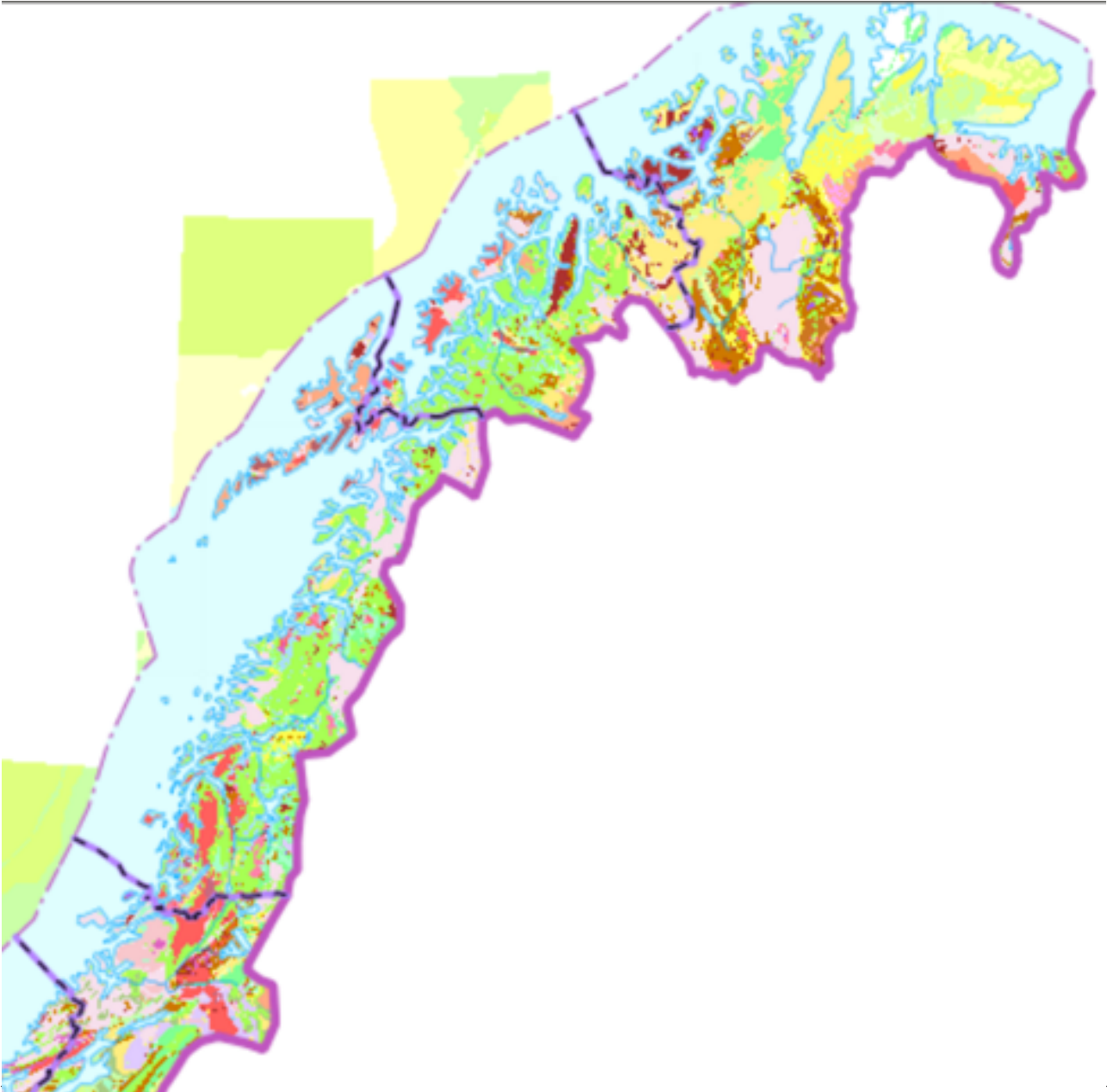
øyegneis (augen gneiss) mylonittisk gneis med kalifeltspat øyner

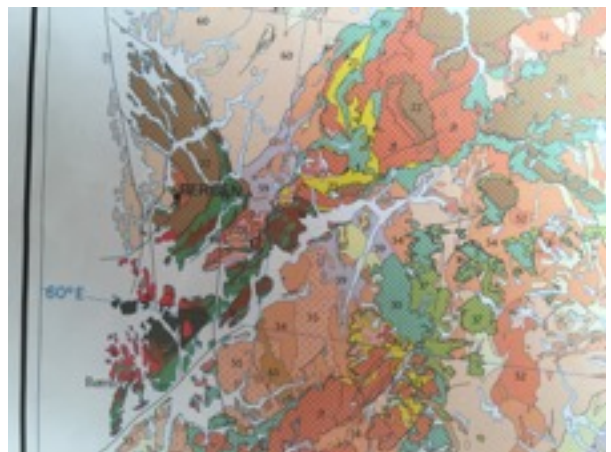
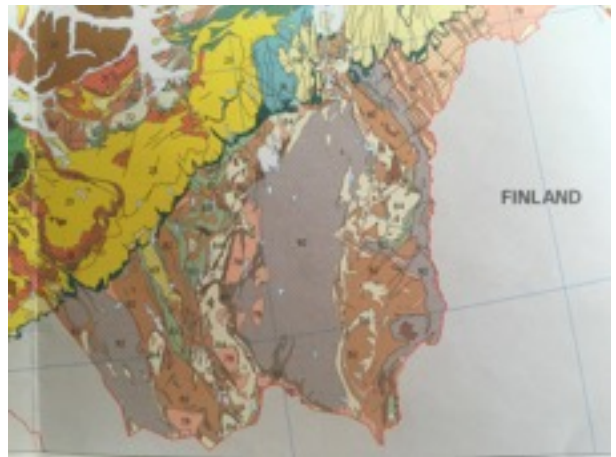
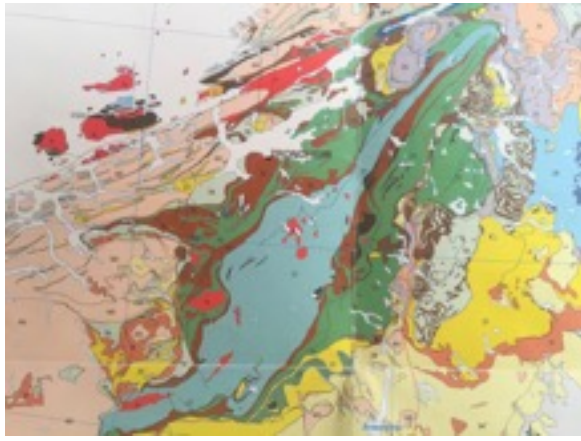
breksje (fault breccia) ingen foliasjon, knuste ba.fragmenter forekommer langs en forkastningsplan

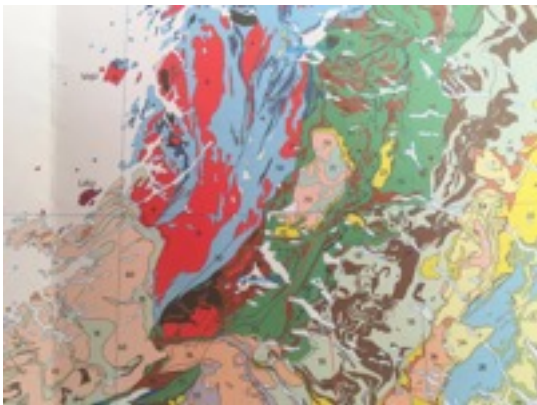
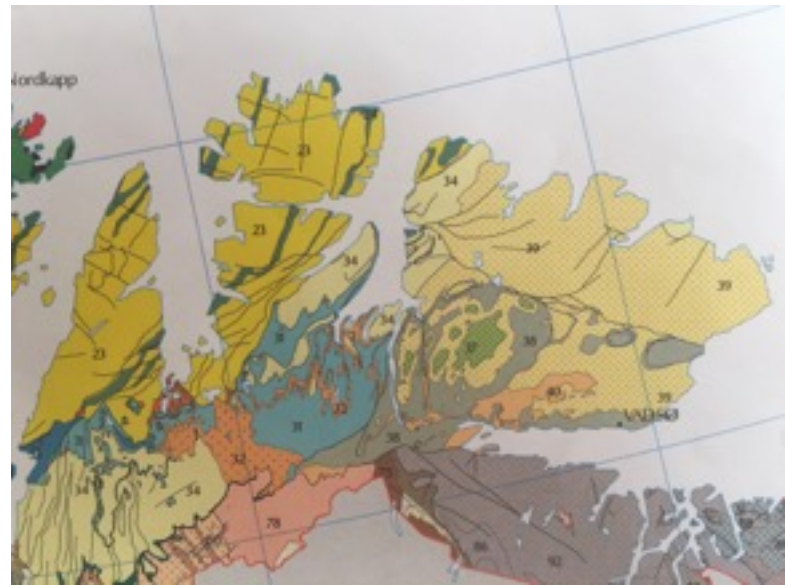
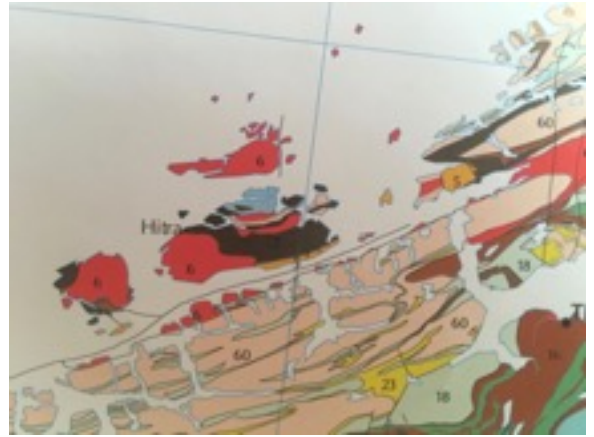
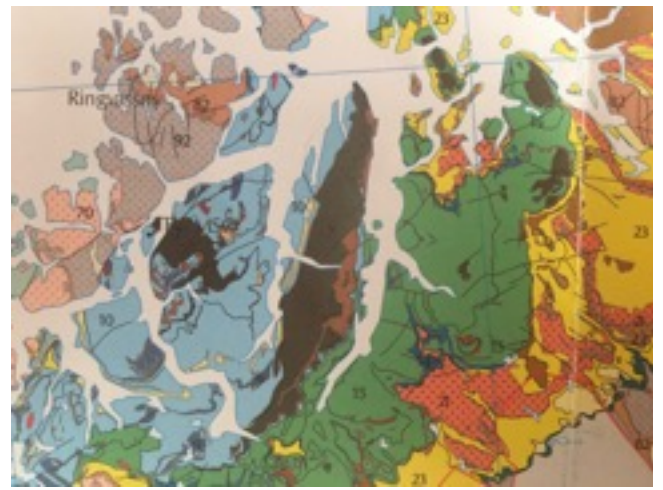
migmatitt (migmatite) "miks" av metamorf+magmatisk ba., pga partiellsmelte (*anatekse*) eller intrusjon (*injeksjon*)

gråstein er ikke et bergartsnavn i geologi. Tilsvareer begrepet ugress i biologi











13 Geologiske felter og områder i Norge. Kom i gang med NGU.no sine digitaliserte berggrunnskart

Man kan dele Norge inn i geologiske områder. Det er ingen fasit over hvordan denne inndelingen gjøres. Områdene kalles blant annet for felter, regioner, distrikter. Inndelingen er litt kunstig og vilkårlig. Grensene mellom områdene kan diskuteres, og antall områder er også

ubestemt. Men det gjør Norges geologi langt mer forståelig og interessant å se på de ulike områdene hver for seg. Det minner meg litt om en dyrepark, med ulike områder av ulike størrelser. Områdene har ganske ulike karakterer, og de fleste dyrene befinner seg innenfor sine område, men noen, spesielt fugler, kan finnes vel utenfor.

Oslofeltet

Larvikitt og Langesundsfjord

Leka-ofiolitten

Karmøy-ofiolitten (Stavanger, med ultramafitt)

Trondheimsfeltet (Bymarka ofiolitt, trondhemitt, synklinal(?))

Bergensbuene

Jotundekket

Hårteigen og Hardangervidda

Sparagmittområdet (Østerdalen-Rondane-Gudbrandsdalen) østlige og vestlige deler, ligger skjøvet over kambrosilur. ligger under Jotunheimen og under Trondheimsfeltet.

Varangerhalvøya (sparagmittområder østlige og vestlige deler, ligger skjøvet over kambrosilur Dividal.)

Trollheimen og Dovrefjell

Den vestlige gneisregionen

Nordfjord-Sogn devonbassengene

Grong-Olden kulminasjonen

Tømmerås antiformalen

Nordland og Troms (marmorert og granitter over grunnfjellsvinduer)

Grunnfjellsvinduer i midt Norge

Finnmarksvidda

Sør-Varanger

Alta-Kvænangsvindu

Repparfjordvindu

Magerøya og Nordkapp

Kalakdekkene og Seilandkomplekset

Lyngenalpene

Telemarksuprakrustalene

Gardnosbreksjen

Fensfeltet

Kongsbergfeltet

Bamble

Egersundfeltet

Trysilbergartene

Østfold

Lofoten

Ramsåfelt på Andøya

Beitstadsfjord

Oslofeltet

Oslofeltet er det naturlige stedet å begynne med en solid forståelse for Norges bergarter. Mens mange områder i Norge er flott for geologisk spesialister, er Oslofeltets bergarter også egnet for nybegynnere. I Oslofeltet ser man sedimentære og magmatiske bergarter med sine opprinnelige strukturer og utseender.

For å forstå dette, kan vi sammenligne geologiske områder med matretter. De fleste norsk områder er kompliserte og kokte retter, som for eksempel pizza. Ingrediensene er vanskelig å kjenne igjen. Og hvis du ikke er godt kjent med tomat og løk, med hvete-korn og hvitemel, med storfe og salami, og med hvete-korn og mel, blir det ganske fjernt om en begynner å beskrive disse ingrediensene for deg. Å besøke Oslofeltet er som å besøke en ferskvarebutikk eller en bondegård. Der ser man ingrediensene uten omarbeidelse (metamorfose og deformasjon). Oslofeltet har ferske bergarter fordi det ligger øst for den kaledonske fjellkjedepåvirkningen, og fordi mange av bergartene i Oslofeltet er relativt ung.

Se på oversiktskartet med de praktiske nummererte bergarter (du kan zoome inn og se på detaljkart på NGU.no senere.)

Oslofeltet domineres av magmatiske bergarter med nr. 3 (granitter) og 4 (lavaer). Disse kom opp som magma, da litosfæren åpnet seg i en kontinentalrift i karbon-perm tiden. Bergartene som lå på overflaten da de magmatiske bergartene kom opp, var kambrosilur sedimenter, med nummer 29, 28, 27, og 26 (der 29 er eldst) og disse lå over prekambrisk basement, som er mye eldre og derfor har mye høyere numre på oversiktskartet (67-52.)

Lavaene og sedimentene lå på overflaten over hele kartområdet, også utenfor Oslofeltet. Disse lagene var flere tusen meter tykke. Nå er nesten alt erodert vekk, med finnes fortsatt noen steder innenfor Oslofeltet. Bergartene i Oslofeltet ble mindre erodert, fordi de ble senket ned langs nord-sørgående normalforkastninger. De lå da på et lavere nivå, og det var hovedsakelig de høyereliggende bergartene som ble utsatt for erosjon. Derfor ser vi mest prekambriske bergarter utenfor Oslofeltet, og innenfor Oslofeltet ser vi mest de granittiske bergarter, fordi de størknet under lavabergartene og derfor lå dypere. Det er ca. 2 kilometer med bergarter som er blitt fjernet fra overflaten siden perm-tiden.

Oslofeltet er en kontinentalrift, som utviklet seg med mye øst-vest ekstensjon, nord-sør forkastningsplan, og magmatisme. Men riftingen stoppet opp, før prosessen kom så langt at blandeskorpen delte seg totalt. Derfor ble ikke kontinentalriften til en midt-havs rygg, og det ble ingen dannelse av miniskorpe.

På nordvest grensen av Oslofeltet, nordvest for Oslo by, ser vi de sedimentære bergartene (29, 28, 27, 26) som dekket Oslofeltet før riftingen. Nå er de tiltet og ligger på skrå. Nr. 29 er kambrisk rullesteinskonglomerat, leirkifer og kalkstein. Nr. 28 er ordovicisk kalkstein og leirskifer. Nr. 29 fikk grønn farge på kartet, fordi det preges av leirskifer, mens nr. 28 preges av kalkstein og fikk blåfarge på kartet. Nr. 27 er silurisk sedimenter som preges av kalkstein igjen, og derfor fikk en mørk blå farge. Men alle tre lag er egentlig en komplisert stratigrafi av formasjoner, som hver har sine bergarter og fossiler.

