

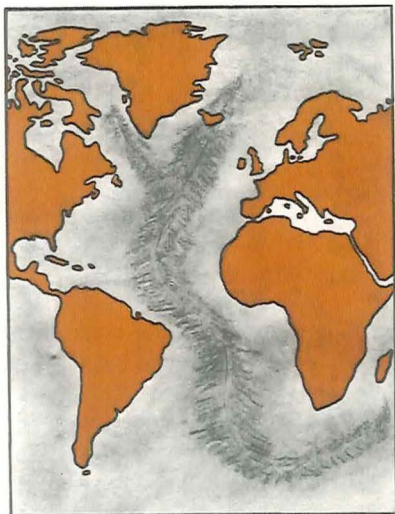
PROCESSER I DYBET

af Sven Maaløe

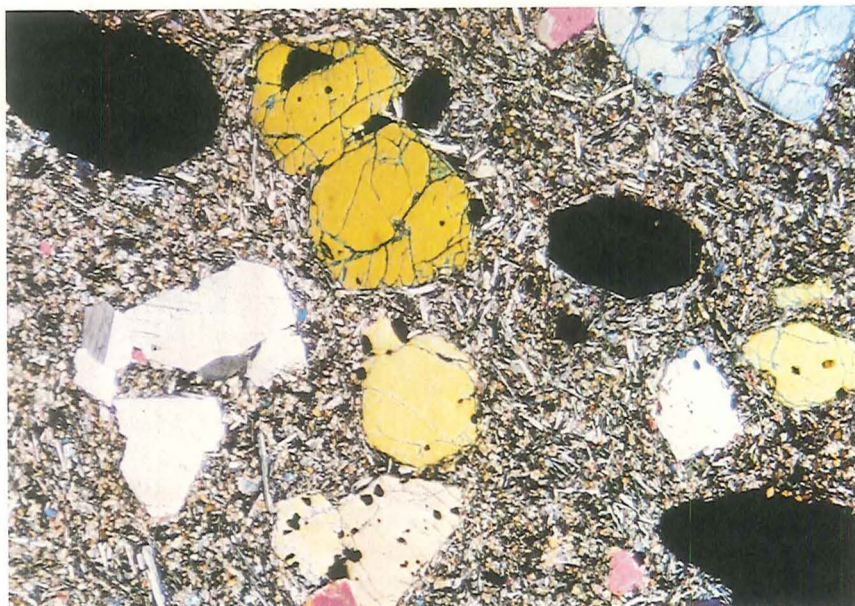
Magnetiske målinger og radiometriske aldersbestemmelser har påvist at der hele tiden sker en nydannelse af oceanbund ude langs de midtoceane rygges brudzoner (riftzoner). Den midtatlantiske ryg, der er vist på figur 1, er en sådan midtocean ryg. Den forløber midt ned gennem Atlanterhavet og selve riftzonen der er 10-50 km bred findes i dens centrale del. Den nye havbund dannes i selve riftzonen og spredes derefter ud til siderne, således at den yngste havbund findes i selve riftzonen, medens den ældste havbund ses ude langs kontinentrandene. Dannelsen af havbund i riftzonen sker ved, at der dannes meterbrede og kilometerlange sprækker i oceanbunden. Sprækkerne udfyldes af flydende basaltisk lava der kommer nede fra Jordens kappe. Lavaen strømmer først op i sprækkerne og flyder derefter ud på oceanbunden. Der sker altså to processer i de midtoceane riftzoner - dels spredes havbunden på de to sider fra hinanden, og dels dannes der ny basaltisk oceanbund. Disse to processer kan forklares ved én og samme mekanisme, nemlig konvektionsstrømninger i Jordens indre. Men lad os først se lidt nærmere på, hvordan Jordens ydre del er opbygget.

Den alleryderste del består af den oceane eller kontinentale skorpe, der er henholdsvis 8 og 30 km tyk. Den oceane skorpe består af et øvre lag af basalt, der er 2 km tykt og et nedre lag af gabbro, der er 6 km tykt. Gabbroen består af de samme mineraler som basalten, den er blot lidt mere grovkornet på grund af en mere langsom krystallisation. De to typer bjergarter er vist i figur 2 og 3. Lige under gabbroen findes dernæst den øverste del af Jordens kappe, der består af bjergarten lherzolit. Lherzolit ser vi sjældent på Jordens overflade, men ikke desto mindre består Jordkloden hovedsagelig af denne bjergart. Lherzoliten indeholder 4 forskellige mineraler: olivin, enstatit, diopsid og spinel - nogle af disse mineraler kan ses på figur 4, der viser et billede af en lherzolit. Jordens kappe fortsætter helt ind til kernen, der findes i dybde af cirka 3000 km.

Konvektionsstrømningerne finder sted i den yderste del af Jordens kappe i en dybde mellem 100 og 650 km. De skyldes, at Jordens temperatur stiger indad mod midten. I 100 km dybde er temperaturen under kontinenterne cirka 1100°C , medens den i Jordens centrum påregnes at være omkring 6000°C . Denne temperaturstigning må sættes i relation til kappens indhold af radioaktive grundstoffer (kalium, uran og thorium). Selv om koncentrationen af disse grundstoffer er ganske lille er den alligevel stor nok til, at temperaturen kan nå så højt op som angivet. Kappen består af silikatmineraler, der er stærkt varmeisolerende og dermed bliver varmeafgivelsen fra kappen lille.



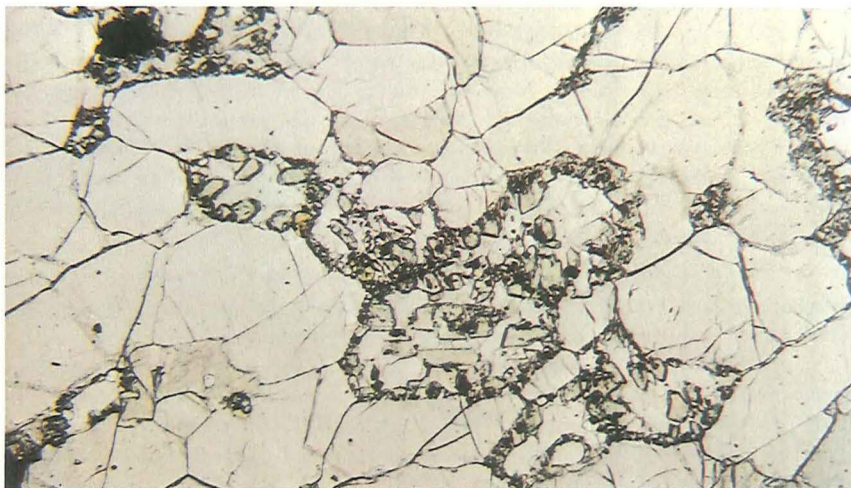
Figur 1. Atlanterhavets havbund. Den midatlantiske ryg udgør cirka 30% af havbunden og befinder sig i den midterste del af Atlanterhavet. Selve riftzonen findes i den centrale del af ryggen og er fra 10 til 50 km bred (se figur 6). Den ældste havbund er 150 millioner år gammel og findes inde ved kontinenterne, mens de basalter der idag findes i riftzonen er nutidige.



Figur 2. Basalttypen tholeiit, som havbunden består af. Billedet viser et 5 mm bredt udsnit af et tyndsnit af bjergarten i polariseret lys. De store farvede krystaller er olivin og de grå er plagioklas (feldspat). Den finkornede grundmasse består af olivin, augit og plagioklas. De afrundede sorte partier er hulrum i lavaen, der har indeholdt vandholdig gas.



Figur 3. Gabbro fra Grønland svarende til oceanbundens gabbro. Billedet viser et 3 mm bredt udsnit af gabbroen, de grå og hvide krystaller er plagioklas, og de store farvede krystaller er olivin.



Figur 4. Lherzolit der har været delvist opsmeltet i kappen. De store krystaller er fortrinsvis olivin, de lidt brunlige er enstatit. De helt små krystaller er dannet ud fra en lokal smelte, som har dannet dråber mellem de store krystaller i lherzoliten. Den viste lherzolit er kommet op som en kartoffelstor knold indesluttet i lava, der er opstået nede i Jordens kappe - de små krystaller er yngst og dannedes ved afkøling efter at lavaen brød ud ved jordoverfladen.

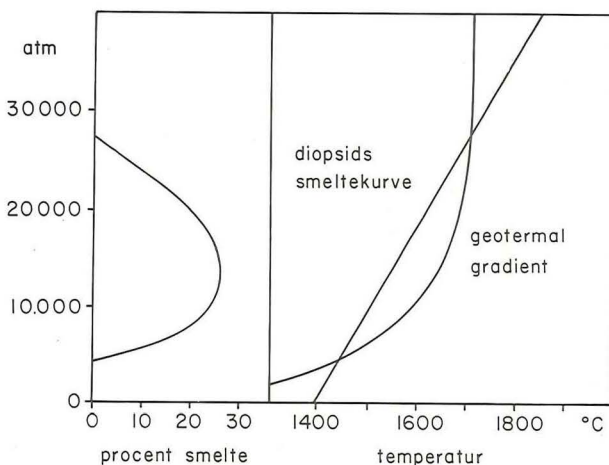
Temperaturstigningen indefter bevirker, at den del af kappen der findes i 650 km's dybde bliver lettere, det vil sige har en mindre vægtfylde end den overliggende del. Selve mekanikken for konvektionen kan forstås ved at betragte en gryde med vand, der varmes op. Til at begynde med er vandet stillestående, men noget før vandet begynder at koge dannes der strømninger i vandet. Det skyldes, at vandet langs grydens bund først varmes op og derfor bliver lettere end den øverste del af vandet. Det lette vand vil stige opad, og det mere tunge vand, der findes foroven må i stedet synke nedad.

En lignende strømning sker i den øvre del af kappen, blot er strømningshastigheden ganske lille, cirka 10 cm om året. Man kan umiddelbart undre sig over, at der kun sker konvektion i den øverste del, da temperaturen i kappen jo stiger indefter. Det hænger sammen med, at den største temperaturforskul findes i kappens ydre del, hvor afkølingen ud mod verdensrummet er størst. Konvektionen vil kun kunne foregå, hvis temperaturforskellen har en vis størrelse, ellers bliver forskellen i vægtfylde for lille til at overvinde bjergarternes interne gnidningsmodstand.

De midtoceane riftzoner er netop placeret der, hvor kappens konvektionsstrømme stiger op. Når kappematerialet kommer op mod Jordens overflade strømmer det ud til siderne og trækker oceanbunden med sig, og revner opstår. Kappen, der stiger op er varm og har endda en temperatur, der ligger over dens smeltepunkt. Kappematerialet er derfor i en delvis opsmeltet tilstand og består dels af den basaltiske smelte og dels af nogle af Ihazolitis mineraler. Man kan danne sig et billede af kappens tilstand, hvis man sammenligner den med sukker, der er ved at smelte på en pande - det består også af krystaller omgivet af en smelte. Den basaltiske smelte samles i et stort magmakammer der befinder sig lige under riftzonen. Når der dannes revner i riftzonen strømmer den basaltiske smelte op i revnen og danner ny oceanbund.

For at forstå denne dannelse af magma må vi se lidt på to forhold, dels kappens smeltepunkt og dels den geotermale gradient, det vil sige den temperaturstigning der finder sted med voksende dybde.

Smeltepunktet hæves med voksende tryk for langt de fleste stoffers vedkommende. Smeltepunktet for et af kappens mineraler, diopsid, er 1390°C ved 1 atmosfære og 1700°C ved 28000 atmosfære, svarende til en dybde omkring 100 km. Vi er her interesserede i det modsatte forhold - nemlig at smeltepunktet falder med faldende tryk. Som tidligere nævnt består kappen af fire mineraler, men lad os for enkeltheds skyld se på, hvad der sker, når et mineral smelter. En væsentlig forskel mellem opsmeltningen af et enkelt stof og en blanding af flere stoffer er, at et materiale der består af flere stoffer smelter ved en lavere temperatur end de enkelte stoffer, hvoraf det består. De temperaturer, der gælder for diopsid, gælder således ikke for kappen i dens helhed. Hvis den geoter-



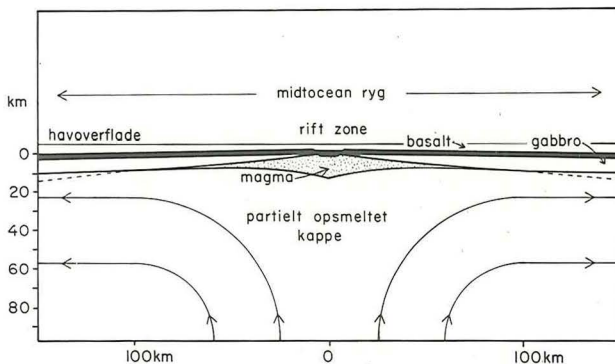
Figur 5. Det højre diagram viser et eksempel på en geotermal gradient samt diopsids smeltepunktskurve. I det trykinterval, hvor den geotermale gradient har en højere temperatur end diopsids smeltepunkt vil der dannes smelte. Den procentvise mængde af smelte er vist i diagrammet til venstre.

male gradient er som vist i figur 5, vil den opadstigende kappe begynde at smelte ved et tryk på 28000 atmosfære, hvis dens temperatur er 1700°C . Det er indledningsvis kun en lille del af diopsiden der smelter - varmen til at danne smelte med fås fra den diopsid, der omgiver smelten. Når trykket er blevet formindsket til 20000 atmosfære er diopsids smeltepunkt 1640°C . Da diopsidsens temperatur oprindeligt var 1700°C vil der følgende være en temperaturforskel på 60°C mellem dens smeltepunkt og dens oprindelige temperatur. Nu er diopsids smeltevarme $85,4\text{ cal/gram}$, og specifikke varmfylde $0,25\text{ cal/}^{\circ}\text{Cgram}$. Når et gram diopsid afkøles 1°C så afgiver det altså $0,25\text{ cal}$. Når vi kender disse tal kan vi beregne, hvor meget diopsid der vil være opsmeltet ved 20000 atmosfære. Hvis 100 gram diopsid er bragt fra 28000 atmosfære til 20000 atmosfære og den anførte temperaturforskel er 60°C så vil der ialt være $60 \times 0,25 \times 100\text{ cal} = 1500\text{ cal}$ til rådighed for opsmeltningen. Der vil derfor være opsmeltet $1500/85,4 = 17,56\text{ gram}$ ved 20000 atmosfære. Prøver vi at beregne variationen i mængde af smelte i procent så får vi den kurve, der er vist i figur 5.

Smeltevarme: den varmemængde, der bruges til at overføre 1 gram materiale fra fast til flydende form ved samme temperatur.

Specifik varmfylde: den varmemængde, der bruges til at opvarme 1 gram materiale 1° .

Lherzoliten, der stiger op i konvektionsstrømningerne, vil opsmelte ved et bestemt tryk og gradvist danne mere smelte på samme måde som diopsiden i vores eksempel. Såvidt man ved, er kappen opsmeltet i dybder mellem 10 og 150 km ude under riftzonerne, og det basaltiske magma har en temperatur på 1200° C og er hvidglødende. Ved kappens opsmeltning dannes der først små dråber af smelte mellem lherzolitens mineralkorn som vist i figur 4. Disse små dråber samles til smalle årer, og magmaet strømmer via disse årer til magmakamre, der kan indeholde adskillige kubikkilometer smelte eller magma, som denne smelte også kaldes.



Figur 6. Konvektionssystemet under de oceane riftzoner. Den centrale del af konvektionsstrømmen kommer op under riftzonen og strømmer ud til siden når den nærmer sig overfladen. Magmaet eller lavaen, der er dannet ved opsmeltning i kappen samles i magmakammeret under riftzonen. Det basaltiske lag i selve riftzonen er sunket lidt ned i magmaet.

Hele konvektionsprocessen er anskueliggjort i figur 6. Den centrale del af den opadstigende konvektionsstrømning kommer fra 650 km dybde og begynder at smelte i cirka 150 km dybde. Mængden af smelte øges efterhånden som lherzoliten nærmer sig Jordens overflade. Strømningshastigheden er lille, cirka 10 cm/år, så det tager omkring 1 million år for kappen at nå fra 100 km dybde til overfladen. I nærheden af overfladen bevæger konvektionsstrømmen sig ud til siderne. Under denne bevægelse samles de små dråber til årer i lherzoliten og der dannes flere mindre magmakamre. Disse befinder sig i den midterste del af konvektionsstrømmen og vil tilføre magma til det magmakammer, der befinder sig lige under riftzonen. Når konvektionen er foregået et vist stykke tid - fra 10 til 100 år - vil den oceane skorpe være kommet i en sådan spændingstilstand, at den revner. Derefter strømmer der magma eller lava op i revnen, og når det er nået op til den øverste del af revnen, strømmer det ud på oceanbunden og

danner basalt. Den del af magmaet der bliver tilbage i magmakammeret under riftzonen afkøler langsomt og bliver til gabbro.

Gennem de sidste 10 år mener man at have fundet ud af, hvordan Jorden så ud for 4000 til 4500 millioner år siden. Det synes som om Jordens overflade lignede vore dages havbund en hel del og udelukkende bestod af basalt. Island er stort set dannet på samme måde som havbunden, blot har magmaproduktionen her været så intens, at det basaltiske lag er blevet usædvanlig tykt, så overfladen findes over havniveau. Faktisk må man regne med at de allertidligste landmasser mindede en del om vore dages Island, se forsiden.

Narssaq - projektet 2

af John Rose-Hansen, Henning Sørensen og Chr. Overgaard Nielsen

I Ilimaussaq-intrusionen ved Narssaq i Sydgrønland findes to mineralforekomster, uranforekomsten ved Kvanefjeld og zirconiumforekomsten i Kangerdluarssuk. Da en eventuel fremtidig brydning og udnyttelse af disse to forekomster vil kunne få miljømæssige konsekvenser har en gruppe forskere med støtte af Statens naturvidenskabelige Forskningsråd (SNF) igangsat et tværfagligt projekt, Narssaq-projektet med henblik på at kortlægge områdets nuværende naturgivne tilstand (se også Varv 1, 1978).

arter, der i sig selv er "unormale" på grund af deres relativt høje indhold af sjældne grundstoffer. Dette betyder, at de geologiske processer og tidens tand allerede har "gnavet" i forekomsterne og i de omgivende bjergarter, som er forvitrede og eroderede under luftens, vandets og isens indvirkning. Resultatet er en naturlig, det vil sige ikke menneske-betinget "forurening" i de tilgrænsende landskaber, elve, søer og fjorde.

En eventuel fremtidig minedrift vil medføre risiko for en yderligere forurening, en menneske-skabt forurening. Det siger sig selv, at denne skal holdes på et acceptabelt lavt niveau, hvis brydningen og oparbejdningen skal igangsættes. Ved fremtidige miljøkontrol-undersøgelser er det derfor vigtigt at kunne skelne mellem den naturlige og den menneskeskabte forurening, hvis da ikke de pågældende mineforetagender skal risikere at blive stillet over for det helt urimelige krav, at de også skal udslette sporene efter den natur-skabte "forurening", en proces som har stået på gennem årtusinder og som skyldes naturkræfter, der ikke lader sig dæmpe eller standse.