

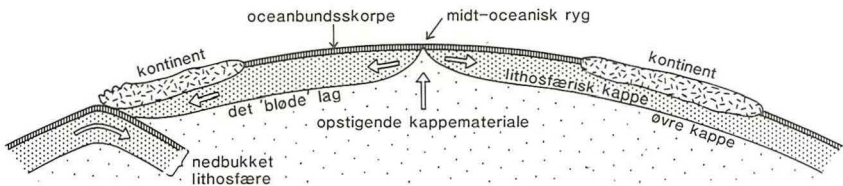
BASALTER I ØSTGRØNLAND



af Lotte Melchior Larsen

Pladetektonisk baggrund

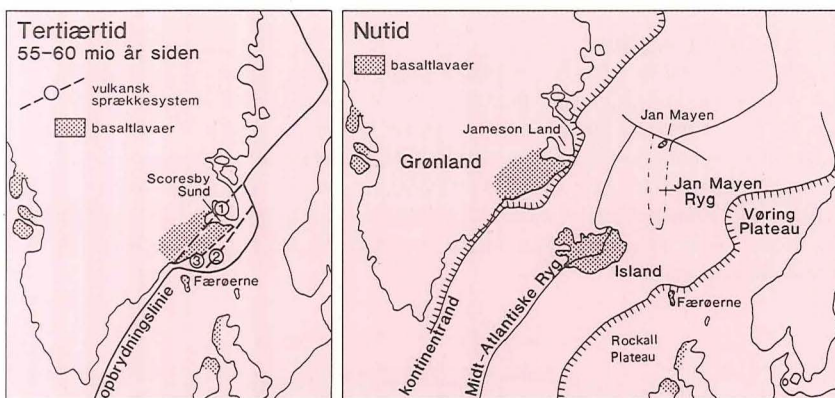
Jordklodens system af midtoceaniske rygge markerer grænser, langs hvilke Jordens store plader glider fra hinanden, og hvor der sker nydannelse af jordskorpe (fig. 1). Størstedelen af skorpen under oceanerne består faktisk af relativt nydannet 'oceanbundsskorpe' – ingen dele af oceanbundsskorpen under de nuværende oceaner er mere end 200 millioner år gamle, hvilket er ungt sammenlignet med kontinenternes aldre på op til 3700 millioner år. I det nordlige Atlanterhav, som behandles her, er oceanbundsskorpen endda ikke over 60 millioner år gammel.



Figur 1. Skematisk snit gennem Jordens yderste lag visende pladernes opbygning og bevægelse. Ny oceanbundsskorpe dannes til stadighed langs den midtoceaniske ryg, hvor pladerne glider fra hinanden på 'det bløde lag', astenosfæren. 'Pladeproblemet' løses ved, at oceanbundsskorpe med vedhængende stive kappe (lithosfæren) andre steder bukkes ned og genoptages i den dybere kappe.

Langs de midtoceaniske rygge stiger kappematerialet op mod overfladen fra større dybder, dvs. mod lavere tryk. Dette er årsagen til, at det opstigende materiale smelter delvis op. Smelterne (magmaerne), der er lettere end det omgivende kappemateriale, stiger videre opad og kan enten løbe ud på jordoverfladen (i regel under havet) som lavaer eller størkne i fødekanalerne som 'gange'. I alle tilfælde opbygges den nydannede skorpe af disse størknede smelter, som har en sammensætning, der betegnes som basaltisk.

Indtil tidlig Tertiærtid for ca. 60 millioner år siden var Nordeuropa og Nordamerika (inklusive Grønland) en sammenhængende kontinentplade, fig. 2. Derefter skete der – i løbet af få millioner år – en række geologiske begivenheder, der førte til dannelsen af Atlanterhavet og havet mellem Grønland og Nordamerika: Kontinentpladen blev brudt op, og store mængder af basaltisk lava strømmede nogle steder ud på kontinentrandene. Endnu mere vulkansk materiale indgik i den nye oceanbundsskorpe, som dannedes mellem den europæiske og den amerikanske plade, efterhånden som disse gled fra hinanden. Størsteparten af de nydannede skorpeområder og af de indsunkne dele af kontinentrandene dækkedes af Atlanterhavet. Denne skorpedannelsesproces fortsætter i dag langs den midtatlantiske ryg, der udgør grænsen mellem den europæiske og den amerikanske plade.



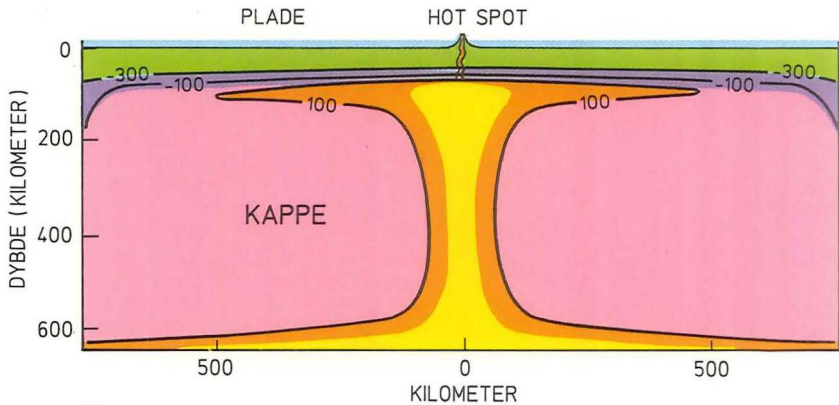
Figur 2. Nordatlanten før opsprækningen startede og i dag. Lavaer over havniveau er vist med prikket signatur. Dertil kommer store mængder havdækkede lavaer på Rockall, Færø og Vøring plateauerne samt selve den nydannede oceanbundsskorpe mellem kontinenterne. Lavaerne betegnes under et som 'den nordatlantiske basaltprovins'. De tre vulkanske sprækkesystemer (1), (2) og (3) i Østgrønland omtales i teksten.

Bemærk, hvorledes den europæiske kontinentrand er sunket ned under havniveau og strækker sig meget langt ud i Atlanterhavet. Det er på disse havdækkede kontinentområder, der er muligheder for at finde olie og gas.

De lavaer, der aflejedes på kontinenternes randzoner ved begivenhedernes start for 50–60 millioner år siden, findes i dag i Øst- og Vestgrønland, på Færøerne, i Skotland-Irland og på de havdækkede Rockall, Færø- og Vøring plateauer i Atlanterhavet. De senere tiders lavaer er mest havdækkede, men Island, hvor der stadig er aktiv vulkanisme langs den midtatlantiske ryg, er en velkendt undtagelse. Alle disse områder udgør tilsammen den nordatlantiske basaltprovins (fig. 2 og 4).

De fleste basalter i den nordatlantiske basaltprovins har karakteristiske fælles træk i deres kemiske sammensætning. De adskiller sig derimod på en række punkter fra de basalter, der er produceret langs størsteparten af den havdækkede del af den midtatlantiske ryg. Dette sammensætningsmønster skyldes muligvis forskelle i sammensætningen af de områder i den øvre kappe, hvori basalterne er dannet ved en delvis opsmeltning. I kappen under Island er der i dag et højtemperatur-område (et 'hotspot'), som formodes at hænge sammen med en opstrømning (en 'plume') af varmt kappemateriale fra større dybder. Dette materiale har en sammensætning, der afviger fra det omgivende kappemateriale.

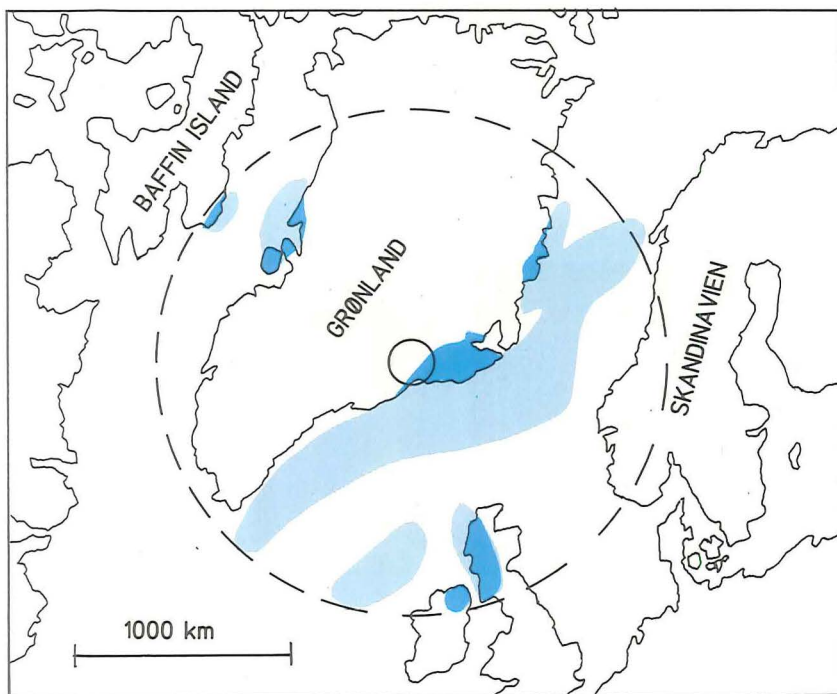
Under opbrydningsfasen i tidlig Tertiærtid eksisterede dette 'hotspot' også, men dets mulighed for at øve indflydelse på basalternes sammensætning i så vidt adskilte områder som Vest- og Østgrønland, Færøerne og Skotland har været stærkt omdiskuteret. I 1989 er der imidlertid fremsat en teori om sammenhængen mellem 'hotspots' og kontinentopbrydning. Teorien er egentlig ikke ny, men den hviler nu på et betydeligt fastere eksperimentelt grundlag. Den er udførligt omtalt i en artikel af R.S. White og D.P. MacKenzie i *Scientific American*, juli 1989.



Figur 3. Skematisk snit gennem et område med opstigende kappemateriale, en såkaldt 'plume'. Opstigningen foregår i en ret snæver 'stilk', og under lithosfæren breder den varme kappe sig ud som en paddehat. Temperaturangivelserne er afvigelser fra den øvre kappes middeltemperatur, som er på 1340°C . Farverne angiver, hvad der er relativt varmt og koldt. På jordoverfladen vil den største varmestrøm oftest findes lige over centret, i et såkaldt 'hotspot', som f. eks. på Island i dag.

I følge denne teori har det varme, opstrømmende kappemateriale i en 'plume' form af en paddehat (fig. 3): Den dybe opstrømning foregår i en 100-200 km bred lodret stamme, men når materialet når op i astenosfæren (det bløde lag)

under lithosfæren (skorpen og dertil koblet kappe ned til 100 km's dybde, se fig. 1), breder det sig ud til alle sider i en stor pude, der kan få en diameter på over 2000 km. Herved kan en eventuel indflydelse af 'plume'-kappe i alle de adskilte nordatlantiske basaltområder forklares (fig. 4). White og MacKenzie påstår endvidere, at kontinentopbrydningen simpelthen forårsages af en 'plume', der presser på kontinentet nedefra, hvorefter dette revner langs en eller flere svaghedszoner. Kombinationen af revnedannelse og underliggende ekstra varmt kappemateriale fra 'plumen' forårsager dannelse af store mængder smelte og en deraf følgende kraftig vulkansk aktivitet på jordoverfladen. Fordelingen af ekstraordinært store mængder basalt inden for cirklen i fig. 4 er slående.

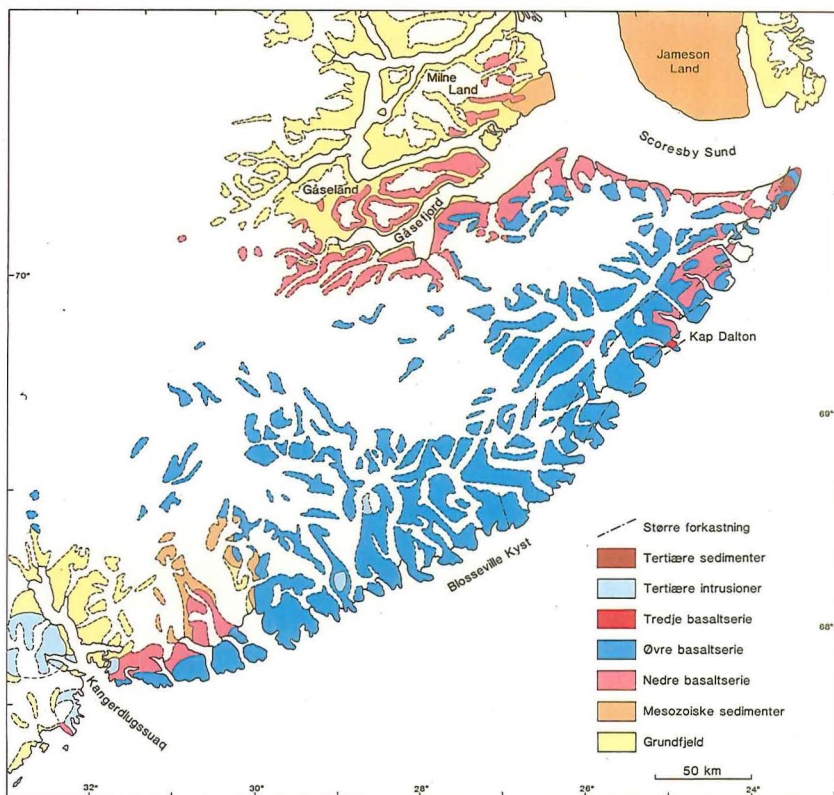


Figur 4. Nordatlanten før kontinentopbrydningen. Centrum af den varme 'plume' i kappen er placeret i Østgrønland. Hvis 'plumens' paddehathoved har været udbredt inden for et område med en diameter på 2400 km, har den kunnet levere materiale og varme til alle basaltområderne på land (mørkeblå) og til alle de havdækkede områder med basalter fra opbrydningstiden (lyseblå).

De østgrønlandske basalter

De største og tykkeste sammenhængende områder over havniveau med lavaer fra begivenhedernes start i tidlig Tertiærtid findes i Østgrønland mellem Kan-

gerdlugssuaq og Scoresby Sund (fig. 5). Den flere kilometer tykke, velblottede lavaserie gør det muligt at følge vulkanismens udvikling i tid og rum under kontinentopbrydningen.



Figur 5. Geologisk kort over Østgrønland mellem Kangerdlugssuaq og Scoresby Sund.

Under opbrydning af et kontinent starter skorpedannelsesprocessen med dannelse af basaltiske smelter som ovenfor beskrevet, og både opsmeltet kappemateriale fra 'plumen' og fra astenosfæren kan indgå i smelterne. De først dannede smelter under kontinentet trænger desuden op gennem tykke lag af både lithosfærens kappe og kontinentsskorpen, hvorved de får mulighed for at reagere med disse og skifte sammensætning undervejs mod overfladen. De basalter, der dannedes på den østgrønlandske kontinentrand, kan således være påvirket af komplekse forhold i både jordens kappe og i kontinentsskorpen.

Feltundersøgelser af de østgrønlandske basalter frembyder store vanskeligheder, fordi terrænet er alpint og delvis isdækket, og afstandene er meget store. Basalterne i Kangerdlugssuaq-området er undersøgt af geologer fra Københavns Universitet, mens basalterne i Scoresby Sund-området er undersøgt af Grønlands Geologiske Undersøgelse. Det mellemliggende område er næsten utilgængeligt, men et helhedsbillede af områdets vulkanske historie er alligevel begyndt at tegne sig.

De oprindelige smelter (magmaer), dannet ved opsmeltning i jordens kappe, steg til vejrs og samledes i store reservoirer (magmakamre). Et sandsynligt samlingssted for magma er grænsen mellem skorpen og kappen ('moho'), hvor der er et stort spring i bjergarternes massefylde. 'Moho' ligger i Østgrønland i ca. 25 km's dybde. Ingen af de magmaer, der nåede overfladen, og som nu findes som lavaer, repræsenterer den oprindelige, primære kappesmelte. Deres kemiske sammensætning viser tværtimod, at de må have opholdt sig et godt stykke tid i magmakamre på højt niveau (10–15 km's dybde) i jordskorpen, så der må have været magmakamre i flere etager.

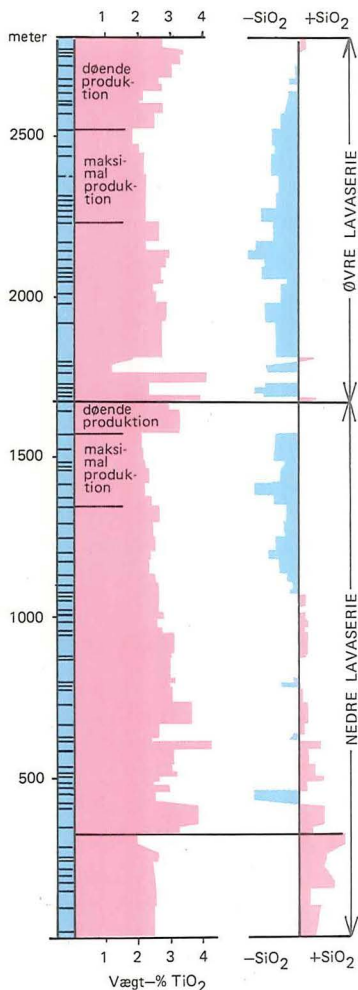
I de højtliggende magmakamre udvikledes magmaet ved stadig krystallisation og periodevis tilskud af frisk magma fra dybet, samt tab af materiale ved vulkanudbrud. Der findes matematiske formler for magmaets kemiske udvikling under denne sammensatte proces, og ved hjælp af disse formler kan den kemiske udvikling af lavaerne med tiden i nogle tilfælde efterlignes ganske godt.

Der skete også en vis opblanding med skorpemateriale fra kontinentet, især i nogle af de tidligste lavaer, som dannedes samtidig med, at den første udvikling af magmakamre i skorpen fandt sted. De senere lavaer viser kun i enkelte tilfælde tegn på at have optaget skorpemateriale, mens de alleryngste lavaer viser tegn på indflydelse fra den første oceanskorpe i området.

Mange af lavaerne i Østgrønland er meget store: 20–60 km³ pr udbrud er almindeligt, og den største påviste lava er på knap 300 km³ og kan følges over et areal på 200 x 60 km. Dette stiller nogle meget alvorlige krav til størrelsen af de magmakamre, som lavaerne kom fra, for geofysikerne kan beregne, at kun ca. 0,5 % af kammerets indhold kan aftappes ved et udbrud. Derefter er det nødvendige overtryk væk, med mindre kammerets tag styrter ind, hvad intet tyder på er sket i Østgrønland. Hvis vi, for at være forsigtige, henviser de relativt få og meget store lavaer til uforklarede specialtilfælde, har vi alligevel 'almindelige' lavaer på op til 60 km³, og hvis dette er max. 0,5 % af kammerets indhold, har dette været på min. 12000 km³. Alle disse tal er en størrelsesorden større end de tilsvarende tal for udbrud på Island i dag: 'Normale' udbrud på Island er i reglen på omkring 1 km³ eller derunder, og det største kendte islandske udbrud er på ca. 14 km³ (Eldgjá, dannet år 934). Magmakamrene er tilsvarende mindre, f. eks. er det magmakammer, der føder det i øjeblikket aktive Krafla system på 74 km³

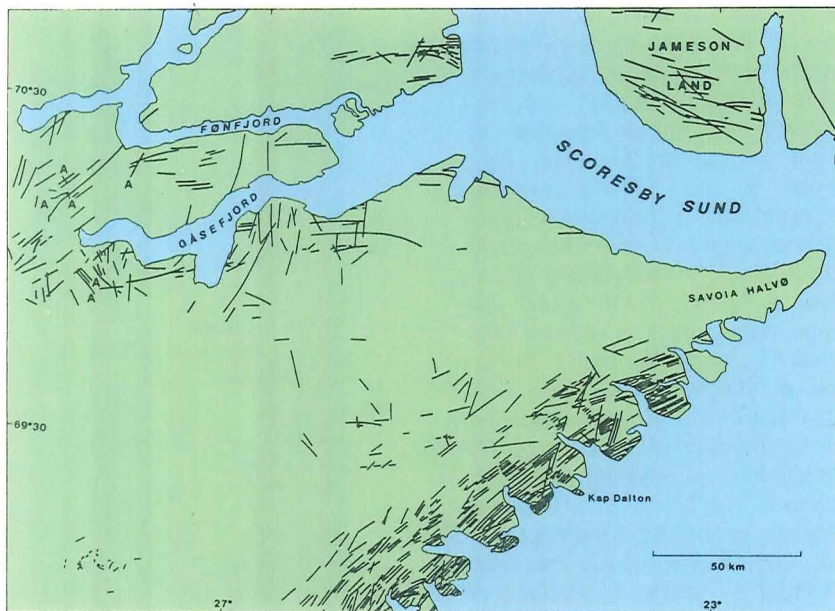
På trods af den store forskel i de nævnte magmakammerstørrelser er de beregnede *produktiviteter* (mængden af dannet magma per tidsenhed) for Østgrønland og Island faktisk ens. Forskellen ligger i udbrudshyppigheden, som er betinget af den tektoniske situation: I det tykke stive kontinent i Østgrønland samledes store magmamængder, som kom til udbrud med meget lange mellemrum, mens den aktive spredningszone i Island sender små portioner lava op med korte mellemrum. Dette skal islændingene nok være glade for, idet den islandske variant er betydeligt fredeligere, end den grønlandske var!

Figur 6. Et sammensat profil gennem øvre og nedre basaltserie i Scoresby Sund-området. Til venstre viser en skematisk søjle de enkelte lavastrømmes tykkelser, og den samlede tykkelse er angivet i meter. I midten viser kurven lavaernes indhold af grundstoffet titan, her i form af TiO_2 . Dette grundstof koncentrerer sig i restsmelten under krystallisation i magmakammeret, og jo højere titanindholdet er i en lava, jo længere tid har denne portion magma stået og udfældet krystaller i magmakammeret. Bortset fra de allerførste lavaer viser både den nedre og den øvre lavaserie faldende titanindhold med tiden. Dette afspejler en stigende magmaproduktion i dybet og deraf følgende kortere opholdstid i magmakammerne. Lavaerne med det laveste titanindhold er dannet i tidsrum med maksimal produktion. I begge de to episoder stoppede produktionen ret brat, og magmakammerne 'døde'. Et tyndt sedimentlag adskiller de to episoders lavaer. Kurven til højre viser lavaernes mætningsgrad med kiseltsyre, SiO_2 . Kontinentalskorpe er meget SiO_2 -rig, og SiO_2 -overskuddet i de nederste lavaer er formentlig opstået ved indblanding af små mængder smeltet kontinentalskorpe i disse lavaer.



Tre vulkanske episoder

Det store basaltområde mellem Kangerdlugssuaq og Scoresby Sund er i hovedsagen opbygget af to på hinanden følgende lavaserier. Begge er tykket i Kangerdlugssuaq-området, henholdsvis 2 km og 5 km, og tynder ud nordpå til ca. 1 km's tykkelse hver i Scoresby Sund-området. I Scoresby Sund-området viser de to lavaserier begge systematiske kemiske variationer med højden. Dette afspejler en dannelse i to adskilte vulkanske episoder, hver med først stigende, og til slut hendørende magmaproduktion (fig. 6). Noget lignende er formodentlig tilfældet i Kangerdlugssuaq-området, hvor forholdene dog synes mere komplicerede.



Figur 7. Basaltgange nord for 69°N. Den ret spredte sværm i Gåsefjord-Jameson Land-området er fødegange for den nedre lavaserie (første episode). Den tætliggende sværm parallel med Atlanterhavskysten er fødegange for lavaerne fra den tredje episode, som nu kun er bevaret ved Kap Dalton. Fødegange for lavaerne fra den anden episode (øvre lavaserie) lå formodentlig sydøst for den nuværende Atlanterhavskyst.

I Scoresby Sund-området stammer lavaerne fra den første episode fra udbrudssteder i indlandsområderne omkring Gåsefjord (fig. 7). De første lavaer var ikke særlig store, og de synes alle at have optaget 1–2 % kontinentsskorpe. Da det eller de meget store magmakamre derefter var etableret, blev lavaerne store og udbredte, og bidraget fra kontinentsskorpen mindskedes og forsvandt. Fødeka-

nalerne til disse udbrud ses nu som en ret spredt sværm af gange i et ca. 200 x 60 km stort område. Hvis det antages, at dette areal angiver magmakammerets udbredelse, ses det, at selv et magmakammer på 12000 km^3 , som anslået oven for, ikke har problemer med pladsen: Denne magmamængde kan placeres i en flad, langstrakt ellipsoide (den mest sandsynlige form) med tværmål på f.eks. $150 \times 30 \times 5 \text{ km}$.

De samtidige lavaer i Kangerdlugssuaq-området omfatter store mængder tuffer og undervandslavaer, som viser transport fra udbrudssteder i syd, uden for den nuværende kystlinie, og mod nord ind i et delvist vandfyldt bassin. Der er altså tale om samtidig lavaproduktion fra to vulkansystemer, der også producerede lavaer med meget forskellige kemiske karaktertræk: Lavaerne i Kangerdlugssuaq er ekstra rige på grundstoffer som titanium, fosfor, zirkonium og niobium. Mange lavaer har også opholdt sig i meget kortere tid i magmakamrene (de er mindre 'udviklede') end de samtidige lavaer i Scoresby Sund-området. Disse træk kan skyldes en større indflydelse fra centraldelen af den varme 'plume' i Kangerdlugssuaq (fig. 4), som muligvis i forbindelse med den begyndende kontinentspredning (se nedenfor) har opsmeltet dele af den højereliggende kappe (lithosfæren) rige på titanium m.m.



Figur 8. Lavaerne ved Atlanterhavskysten. I forgrunden ses nedre lavaserie og i baggrunden øvre lavaserie. Lavaerne er gennemskåret af lodrette gange fra den tætte kystparallelle gangsværm.

Grunden til, at man med ret stor sikkerhed kan sige, at disse begivenheder var samtidige i Kangerdlugssuaq og Scoresby Sund, er, at der i to tilfælde i Scoresby Sund-området nedre serie er fundet lavaer af Kangerdlugssuaq-typen. Disse magmaer har ikke haft selvstændige kamre i Scoresby Sund-området, men er trængt ind i de lokale magmakamre og har i et tilfælde produceret en lava, hvis kemiske sammensætning viser, at den er en simpel blanding af de to typer. Disse fremmede magmaer må have bevæget sig langs dybe sprækker (i kappen ?) ca. 200 km nordpå fra produktionsstederne i Kangerdlugssuaq-området.

Lavaerne fra den anden vulkanske episode er kemisk ens i Kangerdlugssuaq og Scoresby Sund. Fødegange for disse lavaer kendes ikke, men da lavapakken er tykkest i de kystnære områder i sydøst og tynder ud mod nordvest (ind i land), formodes det, at hovedudbrudsområdet lå sydøst for den nuværende Atlanterhavskyst. Lavaerne fra den anden episode afspejler en udvikling svarende til den første, med gradvis stigende magmaproduktion til en kulmination med påfølgende uddøen (fig. 6).

Langs den nordlige del af Blosserville kysten findes resterne fra en tredje vulkansk episode. Disse udgøres af en intens 200 km lang og 30 km bred kystparallel sværm af gange (fig. 7 og 8), som har været fødekanaler for en lavaserie, der nu kun er bevaret i et lille nedforkastet område ved Kap Dalton, men som formodentlig aldrig har været særlig udbredt. Disse gange og lavaer har samme kemiske hovedtræk som de tidligere basalter, men forholdene mellem visse grundstoffer (titanium/fosfor og zirkonium/niobium) har ændret sig efter at have været meget konstante i de tidligere lavaer.

Magmaerne fra den tredje episode er herved blevet identiske med magmaerne på Island. Årsagen til dette er ikke klar, men en mulig forklaring er, at magmaerne i den tredje episode er begyndt at genopsmelte nydannet oceanskorpe, som det menes at ske på Island i dag.

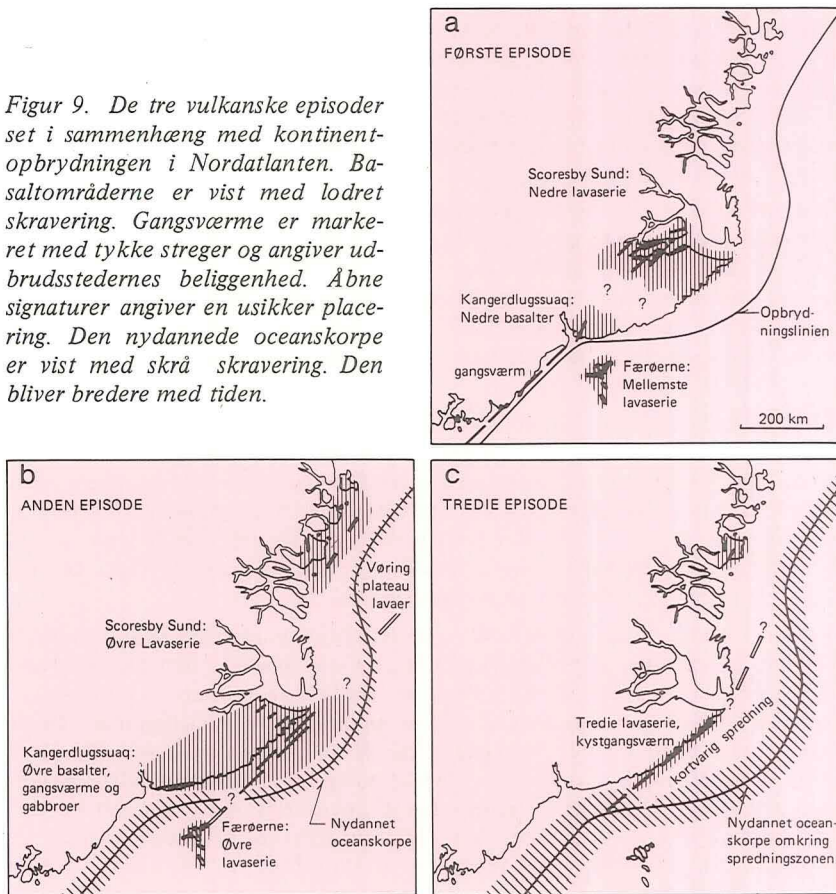
Samtidig med, og kort tid efter, at den tredje vulkanske episode fandt sted, genemsattes området med den kystparallelle gangsværm af kystparallelle forkastninger med nedforkastning mod sydøst. Dette anses for at være halvdelen af et rift-system. Dets midte ligger sydøst for den nuværende kyst, men går lige netop i land i gravsænkningen ved Kap Dalton.

Kontinentets opsprækningshistorie

De tre vulkanske episoder i Østgrønland kan sættes i forbindelse med den begyndende opsprækning af kontinentet. Hovedtrækkene i Nordatlantens opsprækningshistorie er kendt fra geofysiske undersøgelser af de havdækkede områder og har tidligere været omtalt i Varv (1978-3), men flere detaljer er nu kendt. Den første åbningszone (spredningszone) i området lå meget tæt ved den nuværende grønlandske kyst syd for Kangerdlugssuaq og nord for Kong Oscar Fjord, men i det mellemliggende område slog den en stor bue mod øst (fig. 9).

Det centrale område med basalter i Østgrønland ligger netop i denne region, og de tre vulkanske episoder kan opfattes som gentagne forsøg på - ved gennemskæring af det buede stykke - at rette spredningszonen ud til et mere lineært forløb, se også fig. 2.

Figur 9. De tre vulkanske episoder set i sammenhæng med kontinent-opbrydningen i Nordatlanten. Basaltområderne er vist med lodret skravering. Gangsværme er markeret med tykke streger og angiver udbrudsstedernes beliggenhed. Åbne signaturer angiver en usikker placering. Den nydannede oceanskorpe er vist med skrå skravering. Den bliver bredere med tiden.



I den første vulkanske episode åbnede spredningszonen sig hurtigt langs hele Østgrønlands østkyst som en 'lynlås' sydfra og nordpå. Der har været store spændinger i kontinentet i det buede mellemstykke, og fødegangene for den første lavaserie i Scoresby Sund-området ligger tydeligvis i forlængelse af den sydlige del af spredningszonen. Det samme gælder for nogle fødegange i Kangerdlugssuaq, hvor dog hovedfødeområdet må have ligget på den afbøjede spredningszone. Dette giver en naturlig forklaring på de adskilte vulkansystemer

i denne episode. Færøerne ligger symmetrisk med Kangerdlugssuaq omkring spredningszonen, og den 'mellemste lavaserie' på Færøerne har samme titanium—rige karakter som de nedre lavaer i Kangerdlugssuaq, hvorfor de to serier anses for dannet samtidig. Men udviklingen i Scoresby Sund systemet viser, at her mislykkedes gennemskæringsforsøget, og vulkanismen uddøde.

I den anden vulkanske episode skete et nyt gennemskæringsforsøg meget længere østpå, men stadigvæk på kontinentet. Det er ikke klart, om der var skarpt adskilte vulkansystemer i nord og syd, men Færøerne var begyndt at glide østpå og føre sit eget liv med vulkanske produkter (den 'øvre lavaserie'), der kemisk ligner basalter fra midtoceaniske rygge. I Østgrønland slog også dette genembrydningsforsøg fejl.

I den tredje vulkanske episode så gennemskæringen først ud til at skulle lykkes: Den succesfulde sydlige gren af spredningszonen trængte sig nordpå i en riftzone, hvor de tætliggende forkastninger viser, at kontinentet begyndte at give efter. De samtidige lavaer viser tegn på tilstedeværelsen af nydannet oceanskorpe, og det samme gør riftens magnetiske signatur. Men af ukendte årsager stoppede også denne episode, og riften uddøde.

De omtalte tre episoder fandt alle sted inden for et relativt kort tidsrum for 55–58 millioner år siden. Først meget senere, for ca. 45 millioner år siden, begyndte den sydlige gren af spredningszonen (Reykjanes Ryggen) langsomt, men sikkert at æde sig nordover, ind i kontinentet. For ca. 20 millioner år siden var gennemskæringen komplet, og et kontinentfragment indeholdende store dele af den anden østgrønlandske lavaserie løsnedes og begyndte at glide østpå. Det befinder sig i dag under Jan Mayen Ryggen (fig. 2).

Det her skitserede begivenhedsforløb understreger den nære årsagssammenhæng mellem igangsætning af pladebevægelserne og vulkanismen. Den senere oceanbundsspredning i netop dette område af Nordatlanten fremviser et lignende kompliceret billede med gentagne skift af spredningszonens beliggenhed. Dette karaktertræk genfindes den dag i dag på Island, som er den moderne ækvivalent til de østgrønlandske basalter. Det skyldes antagelig et samspil mellem pladerens spredningshastighed og beliggenheden af 'hotspottet', som langsomt vandrer østpå. Hvis der ikke sker flere skift i spredningszonens beliggenhed østpå, vil 'hotspottet' sammen med vulkanøen Island glide bort fra den midtatlantiske ryg, som vil synke i havet.

