

# VARV

NR. 3 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1978



EN TIDLIGERE ARTIKEL OM DANNELSE AF OCEANBUND FORTSÆTTER MED EN BERETNING OM NORDATLANTENS UDVIKLINGSHISTORIE, OG FOR FØRSTE GANG SER VI NÆRMERE PÅ DE KRÆFTER, SOM LIGGER BAG OCEANBUNDSDANNELSE OG KONTINENTDRIFT. BILLEDET HEROVER FRA THINGVELLIR-SLETTEN SVARER GANSKE TIL BRUDZONEN I DE MIDT-OCEANE RYGGE. FORKASTNINGEN ER 40 METER HØJ - I ØVRIGT ER DET ET GAMMELT TINGSTED, HVOR TALEREN STOD VED DEN HØJE VÆG. VARV INVITERER OGSÅ PÅ EN AFSLAPPET GEOLOGISK TUR TIL KULLEN, OG ENDELIG GØRES REDE FOR NOGLE FLERE ASPEKTER AF NARSSAQ-PROJEKTET.

15. aug. 1978.

ISSN 0105-6301

Folkeuniversitetet i København afholder i efteråret og vinteren 1978/79 et orienteringskursus i geologi samt et geologisk grundkursus som indledning til et geologisk liniestudium. For deltagere der har gennemgået grundkursus afholdes emnekurser i kvartærgeologi-sedimentologi, palæontologi og krystallografi, mineralogi og petrografi. Nærmere oplysninger og kursusprogram kan fås ved henvendelse til Folkeuniversitetet, Købmagergade 52, 1150 København K, tlf. (01) 14 48 27.

Det kan tilføjes, at VARV i tidligere numre har bragt artikler inden for de ovennævnte emneområder. Vi har et løbende udsalg af vores 10 første årgange (105 kr + porto 9 kr) - og har på nuværende tidspunkt (1.juni) kun 15 komplette sæt tilbage.

#### NYT TILBUD:

14 enkelthefter af Varv med artikler om kvartærgeologi	kr. 50.00.
16 enkelthefter med turvejledninger, specielt kvartærgeologi	kr. 55.00.
16 hefter med artikler om krystallografi og mineralogi	kr. 55.00.
14 hefter med artikler om forstenede hvirvelløse dyr	kr. 50.00.
14 hefter med artikler om forstenede hvirveldyr	kr. 50.00.
5 hefter med artikler om forstenede planter	kr. 20.00.
4 hefter med artikler om præparation af forsteninger	kr. 20.00.

Desuden har vi stadig ekskursionfører til Røsnæs (væsentlig med kvartærgeologisk indhold)	kr. 21.00.
Den lille Geotekniker (med sedimentologisk indhold)	kr. 21.00.
Geologi på øerne (med en del kvartærgeologisk indhold)	kr. 21.00.
Grundbog i strukturer (med bl.a. beskrivelse af sedimentstrukturer)	21.00.

## VARV

Postadresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K. Tlf. 01 - 13 50 01.

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Mona Hansen, Erling Bondesen, Erik Stenestad.

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 36,00 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80.

VARV's plakater (10 kr), ekskursionsførere (Stevns-Fakse-Møn 21 kr, Røsnæs 21 kr, Bornholm 36 kr) og samlekasetter (til 6 årgange) 13 kr fås ved at indsende beløbet på postgiro 9 06 88 80.

Alle henvendelser vedrørende adresseforandring, fejl ved bladets levering, og lignende bedes rettet til postvæsenet.

© 1978 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter tilladelse.

# NORDATLANTEN

af Hans Chr. Larsen.

I Varv nummer 1, 1978 blev den almindeligt accepterede teori for oceanbundsdannelse, "seafloor-spreading" teorien, beskrevet. I dette nummer vil vi bruge teorien og se på dannelsen af det Nordatlantiske ocean.

## HAVBUNDSFORHOLD OG AFGRÆNSNING AF NORDATLANTEN

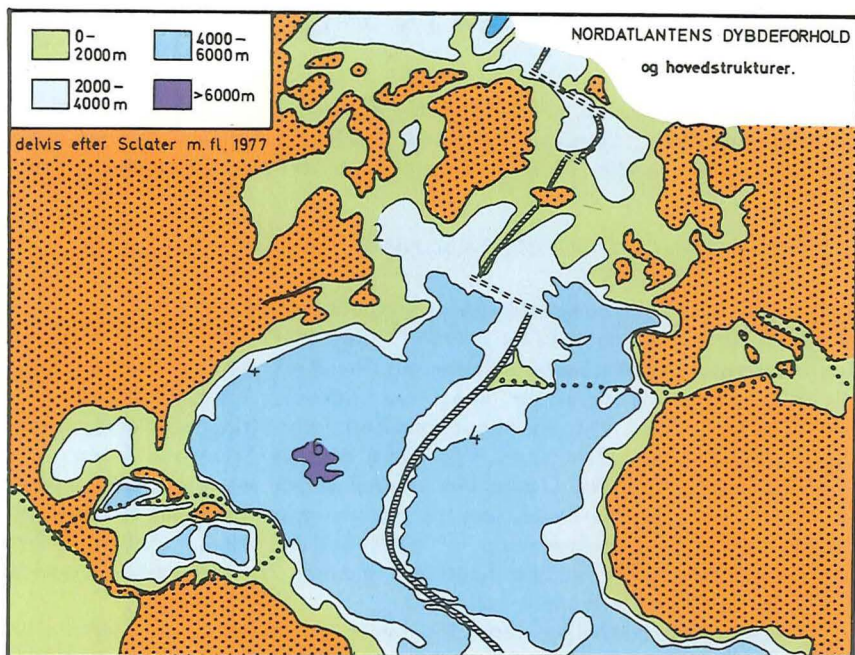
Denne artikel omhandler for overskuelighedens skyld kun dannelsen af det Atlantiske ocean nord for ækvator. De lavvandede områder omkring kontinenterne, shelfområderne, slutter sig, hvad skorpens struktur angår nær til kontinenterne og vil derfor ikke blive behandlet i denne artikel.

I figur 1 er vist en meget forenklet fremstilling af Nordatlantens dybdeforhold og hovedstrukturer. Mod nord har det Atlantiske Ocean forbindelse med det Arktiske Ocean via et smal stræde mellem Nordgrønland og Spitsbergen. Denne kanal, der til en vis grad følger en forkastning, danner den nordlige begrænsning af det Atlantiske ocean. Mod øst udgør det Europæiske og Afrikanske kontinent grænsen og mod vest tilsvarende det Syd- og Nordamerikanske kontinent.

Den pladetektoniske teori indebærer en opdeling af Jorden i en række stive "lithosfæreplader" (se Varv 1, 1978). Af figur 1 fremgår det at 4 forskellige plader idag grænser op til hinanden indenfor det Nordatlantiske område. I begyndelsen af Tertiærtiden var dog 5 plader aktive, idet Grønland i dette tidsrum udgjorde en selvstændig plade - men mere om dette senere.

Kun de vigtigste strukturer kan aflæses ud fra de stærkt forenklede dybdeforhold i figur 1. Vi ser, at de lavvandede shelfområder brat går over i det oceaniske bassiner, hvor vi mellem Afrika og Amerika finder vanddybder på over 6000 meter. De oceaniske bassiner er ikke nær så dybe i området mellem Europa og Grønland - det skyldes i nogen grad det nordlige områdes senere dannelse, men synes iøvrigt at hænge sammen med en meget dybtliggende uensartet opbygning af Jorden.

En undersøisk bjergkæde, den såkaldte "midtatlantiske ryg", ses også tydeligt i figur 1. Dens sydlige del ligger midt imellem Afrika og Amerika, og er længere mod nord forskudt mod vest af en stor transform forkastning i området mellem Spanien og Newfoundland, og skærer derefter gennem Island i området mellem Europa og Grønland. Længst mod nord i området er bjergkæden endnu en gang forskudt mod vest langs en stor transform forkastning. Den videre fortsættelse af ryggen mod nord vil blive behandlet i en kommende artikel om dannelsen af det Arktiske ocean. Udover de to tidligere omtalte transforme forkastninger fortsættes ryggen tillige af en række mindre transforme forkastninger, hvoraf kun én er vist (lidt nord for Island).



Figur 1. Såvel den midtatlantiske ryg (vandret skravering) som de transforme forkastninger (dobbelt stiplede linie) udgør "pladegrænser". Øvrige "pladegrænser" er vist med en "bollelinie".



Figur 2. Figuren viser et skematisk og overhøjet tværsnit af højdeforholdene over den midtatlantiske ryg. De mange toppe udgøres af vulkanske bjerge. I dalene findes endvidere en smule oceaniske sedimenter. I midten ses en særlig markant dal, den såkaldte centrale gravsænkning ("rift"). Det er her den nutidige spredning er lokaliseret. Den iøjnefaldende omend ikke perfekte symmetri omkring den centrale "rift" skyldes, at størsteparten af de vulkanske bjerge oprindeligt er dannet i den centrale riftzone, og senere er transporteret til hver sin side under indvirkning af seafloor-spreading processer.

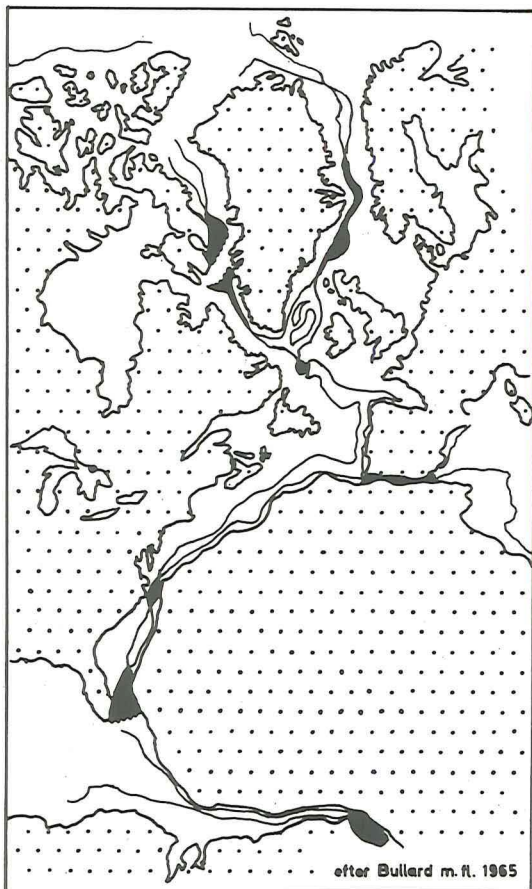
Den midtatlantiske ryg falder sammen med de nutidige spredningsakser (se Varv 1, 1978) og består af to parallelt forløbende rækker af vulkanske bjerge adskilt af en central gravsænkning som vist i figur 2. Det er ud fra denne ryg, at den nutidige oceanbundsdannelse foregår - så selvom Island udgør et atypisk stykke af ryggen er det let at forstå, at man finder så mange aktive vulkaner netop i Island.

## DEN INDLEDENDE DRIFT-FASE

Hvorledes hang kontinenterne sammen, inden de begyndte at spredes fra hinanden, og hvornår begyndte denne spredning? Det er de første spørgsmål der må besvares når Nordatlantens historie skal udredes.

Hvad angår det første spørgsmål, så drejer det sig om at lave en rekonstruktion med kontinenterne i en såkaldt præ-drift situation. Sådanne er der lavet flere af, idet forskellige forhold har været lagt til grund for rekonstruktionen. En ofte benyttet rekonstruktion er vist i figur 3. I denne præ-drift model har man valgt at lade kontinent/ocean-grænsen følge 1000 meter dybdekurven uden for shelfrandene, og man har derefter ladet en computer beregne den bedste gensidige tilpasning af "kontinent-puslespil-brikkerne". Selv en sådan simpel tilpasningskonstruktion virker meget overbevisende, og var, da den fremkom (1965), et vægtigt indicium for seafloor-spreading teoriens rigtighed. De nyeste præ-drift konstruktioner placerer imidlertid kontinenterne lidt længere fra hinanden, idet kontinent/ocean-grænsen placeres ved 3000 meter dybdekurven i den sydlige del og 2000 meter kurven i den nordlige del - idet valget af sidstnævnte kurve hænger sammen med de omtalte lavere oceaniske dybder i dette område.

Det andet spørgsmål - om tidsfæstelsen af spredningens begyndelse, lader sig ikke besvare lige præcist alle steder i Nordatlanten. I de yngre, nordlige dele er der en usikkerhed i dateringen på et par millioner år, i de sydlige og ældre dele af Nordatlanten kan usikkerheden godt passere både 10 og 20 millioner år. Usikkerhederne skyldes en række begrænsninger i dateringsmulighederne ud fra de magnetiske afvigelser (anomalier) på oceanbunden og den magnetiske polaritets-tidsskala (se Varv 1, 1978). Ligesom et magnetbånd kan tabe sin magnetisering, og dermed sin læselighed, ved lang tids opbevaring, så svækkes oceanbundens anomalibillede med tiden, med deraf følgende vanskeliggørelse af anomalidentificeringen. Dertil kommer at tids-polaritetsskalaen, der er "læsenøglen" til anomalibilledets alder, er mindre detaljeret og mere mangelfuldt defineret, når vi kommer mere end cirka 90 millioner år tilbage. Dateringen af den begyndende drift-fase hviler derfor i meget høj grad på de få borer, der er foretaget på oceanbunden (se også Varv nr. 2, 1971), samt på studiet af den geologiske udvikling af de blottede dele af de tilstødende kontinentalrande.



Figur 3. Præ-drift konstruktion for dele af den nordlige halvkugles kontinenter. 1000 meter vanddybde er vist med en tynd streg. Overlappende områder er vist med sort farve. Der findes i dag andre præ-drift konstruktioner, hvor henholdsvis "gab" og "overlap" er minimaliseret yderligere. For en række af de mest markante gab/overlap findes endvidere rimelige geologiske forklaringer.

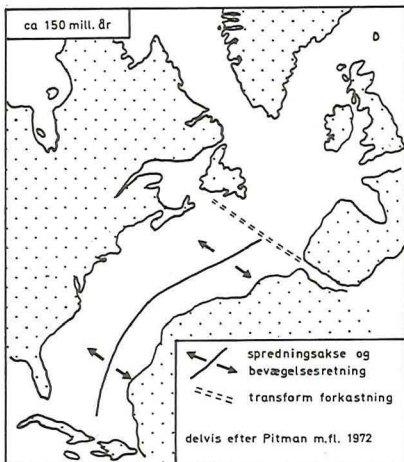
Den første spredning af kontinenterne og den dermed forbundne dannelse af ny oceanbund fandt sted mellem Afrika og Nordamerika. Denne spredning startede antageligt for omkring 180 millioner år siden (ældre Jura-tid), omend de ældste daterbare magnetiske anomalier kun har en alder på cirka 150 millioner år. Situationen, som den så ud for cirka 150 millioner år siden, er vist i figur 4. Da det europæiske kontinent ikke bevægede sig i forhold til det nordamerikanske kontinent i denne første drift-fase, må der af hensyn til balancen have fundet en kompenserende bevægelse sted mellem Europa og Afrika med dannelse af oceanbund i Middelhavsområdet, og dannelse af ny oceanbund i Nordatlanten må have været begrænset til området syd for en linie mellem Newfoundland og Spanien.

## DEN FORTSATTE DRIFTBEVÆGELSE

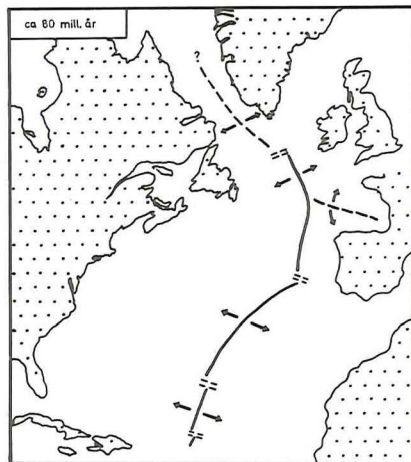
I perioden mellem cirka 150 og 60 millioner år (Mellem Jura til ældre Tertiær) skete der en fortsat ekspansion af driftaktiviteten mod nord. I periodens første del (150 til cirka 120 millioner år) udgjorde en linie mellem den Biscayiske Bugt og Labrador Havet den nordlige begrænsning for oceanbundsdannelsen, således at de nordvestlige dele af Europa, Grønland og Nordamerika lå fast i forhold til hinanden.

Omkring 120 millioner år (ældre Kridt) omdannedes den sydlige del af denne grænselinie til en spredningsakse, og ved at den Iberiske halvø (Spanien og Portugal) så at sige blev drejet mod uret omkring Pyrenæerne opstod den Biscayiske Bugt. Omkring 80 millioner år før nu var hele den gamle grænselinie mellem Biscayen og Labrador Havet formodentlig omdannet til en spredningsakse (se figur 5), hvor bevægelsen i det sydlige område (Biscayen) er ved at dø ud.

Det nye forløb af spredningsaksen medførte, at Grønland sammen med Nordvesteuropa bevægede sig væk fra Nordamerika. Denne fase er dog stadigvæk omdiskuteret, idet de ældste daterbare magnetiske anomalier mellem Grønland og Nordamerika (Labrador) ikke er ældre end 60 millioner år. Da begyndte imidlertid også spredningen mellem Europa og Grønland, og dermed var hele det nordatlantiske spredningssystem etableret.



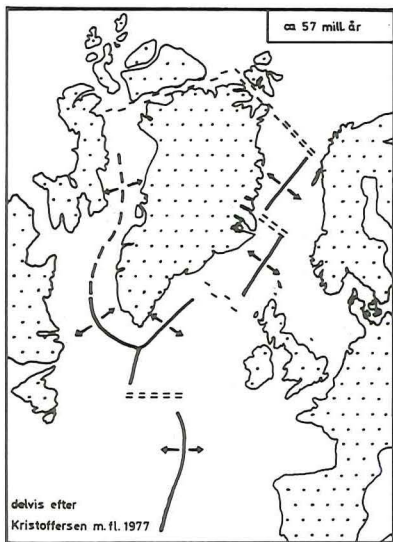
Figur 4.



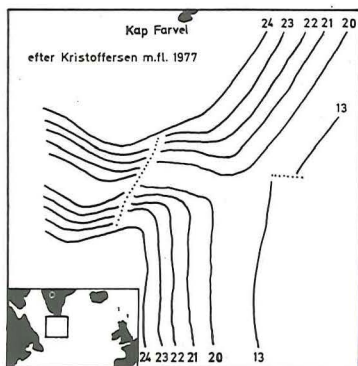
Figur 5. Symboler som i figur 4. Tvivlsomt forløb af spredningsaksen i stiplede linie.

## DEN TERTIÆRE DRIFT-FASE

I Tertiær- og Kvartærtiden foregik en spredning ud fra hele den midtatlantiske ryg lige op til Spitsbergen, hvor spredningsaksen som tidligere nævnt var forskudt mod vest før den fortsætter oppe i det arktiske ocean.

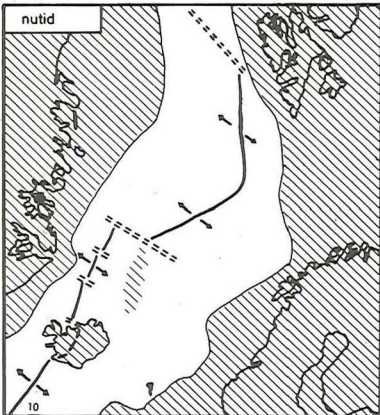
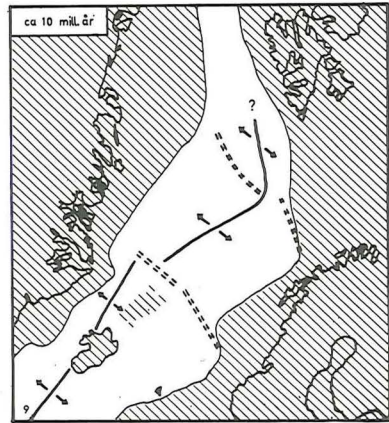


Figur 6. Symboler som i figur 4 og 5. Udover de viste transforme forkastninger (dobbelstiplet linie) hvis spor direkte kan påvises i dag, har der sandsynligvis været en transform forkastning cirka hvor Island i dag befinder sig (udtyndet dobbelt stiplet linie). For at få pladebevægelserne til at stemme overens i et større mønster, er det endvidere nødvendigt at postulere en transform forkastning mellem Nordvestgrønland og Arktisk Canada (Ellesmere Land). Eksistensen af sidstnævnte er stadig omdiskuteret, idet en række "fastlandsgeologer" mener at kunne påvise at dette ikke kan være tilfældet.



Figur 7. Kort over den nutidige fordeling af ældre magnetiske anomalier i området syd for Kap Farvel. I modsætning til de ældre anomalier (24-20) fortsætter nr. 13 næsten ubrudt mod nord uden "svinkehænder" mod nordvest i Labrador Havet. Man regner derfor med, at på anomali 13-tid (cirka 38 millioner år) var bevægelsen mellem Nordamerika og Grønland ophørt.





Figur 8, 9 og 10. Symboler som i de foregående figurer. Kontinenterne og de tilhørende kontinentale shelfområder er vist med skravering. Nydannet oceanbund fremstår i blåt.

Bemærk det løsrevne kontinentale fragment midt i figur 9.

I dette afsnit om den Tertiære driftfase vil vi koncentrere os om området nord for en linie mellem Sydengland og Newfoundland. Dette, dels fordi det nævnte område ligger i vor umiddelbare nærhed og derfor har størst interesse, dels fordi spredningen syd for denne linie har været meget regelmæssig gennem hele Tertiærtiden, hvilket også kan aflæses i figur 9 fra den foregående artikel i Varv 1, 1978.

Som tidligere nævnt findes der cirka 60 millioner år gamle daterbare magnetiske anomalier i Labrador Havet mellem Grønland og Labrador. De samme anomalier genfindes også i området mellem Nordvesteuropa og Grønland. Det betyder, som vist i figur 6, at i begyndelsen af Tertiærtiden udgjorde Grønland en selvstændig plade uden "kobling" til hverken Europa eller Nordamerika. Eksistensen af Grønland som en selvstændig en-

hed varede dog kun ved indtil cirka 38 millioner år før nu. Derefter stand-  
sede bevægelsen mellem Nordamerika og Grønland, og disse to områder  
 fungerede atter som en enkelt "plade". På dette tidspunkt (38 millioner)  
 var den indbyrdes placering af Nordamerika og Grønland den samme som  
 idag, da der ikke har været nogen relativ bevægelse mellem de to områ-  
 der siden.

I perioden mellem cirka 60 og 38 millioner år stødte således tre  
 spredningsakser sammen lidt syd for Grønland (figur 6). Et sådant specielt  
 område kaldes et "tripelpunkt", og i figur 7 er det skematisk vist, hvor-  
 ledes de enkelte magnetiske anomalier kan følges fra den ene sprednings-  
 akse over i den næste.

I den nordøstlige del af Atlanten, det vil sige, området mellem  
 Nordvesteuropa og Grønland, fortsatte spredningen gennem resten af Ter-  
 tiærtiden og Kvartærtiden og er aktiv den dag i dag, hvilket bevidnes af  
 den kraftige vulkanske aktivitet omkring Island.

## TERTIÆR DRIFT I NORDØSTATLANTEN

Som tidligere omtalt begyndte dannelsen af ny oceanbund her i æl-  
 dre Tertiær for cirka 60 millioner år siden. I figur 8 ses, hvorledes om-  
 rådet tog sig ud et par millioner år efter start af spredningen. Sprednings-  
 akser begrænses mod nord af en transform forkastning, der forløber i cirka  
 nord-syd retning op mellem Spitsbergen og Grønland. I begyndelsen af  
 Tertiærtiden bevægede Grønland sig således mod nord parallelt med Spits-  
 bergen og ikke væk fra Spitsbergen. I den sydlige del af området i figur  
 8 ses, at spredningsaksen ligger cirka midt imellem Irland og Sydgrønland  
 og i den nordlige del cirka midt imellem Norge og Nordøstgrønland, dog  
 med et tydeligt skråt forløb i forhold til kystzonerne.

I området omkring og lidt nord for, hvor Færøerne er indtegnet på  
 figur 8 er forløbet af spredningsaksen lidt mere kompliceret. Hvor Island  
 er placeret i dag, kan den gamle spredningsakse ikke genfindes, og aksens  
 forløb lidt nord herfor ligger betydelig sydøst for forbindelseslinien mellem  
 den nordligste og sydligste del af aksens. Denne forskydning af det midter-  
 ste aksestykke skyldes transforme forkastninger. Færøerne er i modsætning  
 til Island indtegnet på figur 8, idet øgruppen er dannet umiddelbart før  
 og måske også under den tidligste spredningsfase.

Færøerne, der næsten udelukkende er opbygget af basaltiske lava-  
 er, som meget ligner dem, der udgør den nutidige oceanbund, kan tænkes  
 dannet ved, at den tidligste oceanbundsvulkanisme lokalt har været så kraf-  
 tig, at dele af oceanbunden så at sige er blevet "smidt op på land". En  
 eventuel særlig kraftig vulkanisme i området kan endvidere have tilsløret  
 dannelsen af det sædvanlige magnetiske anomalimønster, hvilket kan være  
 forklaringen på, at man ikke kan genfinde den gamle spredningsakse her.

For cirka 38 millioner år siden standsede som tidligere omtalt bevægelsen mellem Nordamerika og Grønland. Det medførte at Grønlands fremherskende bevægelse mod nord blev erstattet af en mere øst-vest orienteret bevægelse. Som følge af den nye bevægelsesretning begyndte Grønland derfor nu at fjerne sig fra Spitsbergen, og en kanal mellem det arktiske ocean og Nordatlanten opstod. At de kolde arktiske vandmasser nu kunne strømme ned i Nordatlanten havde utvivlsomt stor indvirkning på havstrømme og temperaturer og har sandsynligvis påvirket klimaet selv på vore hjemlige breddegrader.

Resultatet af de nye spredningsretninger er vist i figur 9, der viser situationen i Nordatlanten for cirka 10 millioner år siden. Vi ser, som ovenfor beskrevet, at en kanal til det arktiske ocean er dannet. Men midt i området er der sket nogle drastiske ændringer: Den sydøstligt forskudte del af spredningsaksen var ikke aktiv mere, men blev erstattet af en ny akse parallel med den gamle akse, men liggende længere mod nordvest. Den nye placering af aksen gav anledning til forøget vulkanisme i området omkring Island, der ses at være under begyndende dannelse. Endvidere har aksepringet mod nordvest været tilpas stort til, at en flis af den østgrønlandske shelf blev "skåret af", og nu ligger og "svømmer" midt ude i oceanet.

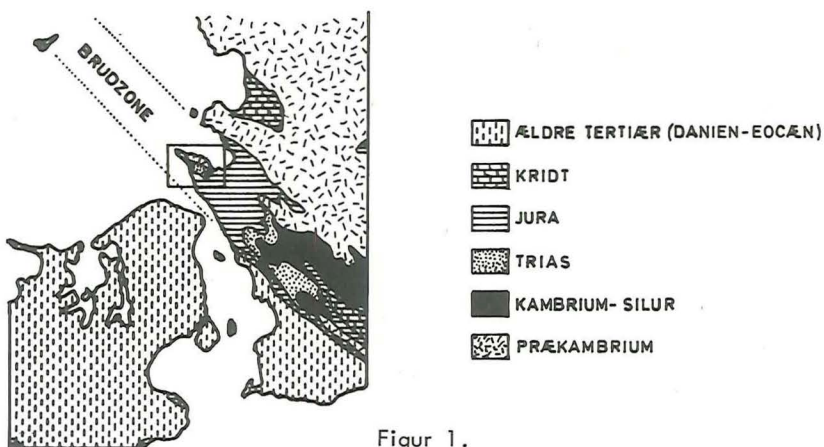
Efter de sidste mere drastige ændringer har udviklingen siden været jævn og rolig, med spredning omkring de viste akser (figur 9) - en spredning der foregår den dag i dag og beløber sig til et par centimeter pr. år. Den nuværende position af kontinenterne er selvfølgelig den samme, som den der kan findes i ethvert atlas, men er af hensyn til sammenligning også vist her i figur 10.

## TUR TIL KULLEN

af Valdemar Poulsen

I VARV fortælles om mange forskelligartede geologiske processer, men det er ikke altid muligt at tage ud i naturen og se eksempler på de omtalte processer. Nu vil vi slå flere "geologiske fluer" i et smæk - i form af en tur til Kullen, for her er det muligt at få megen forskellig geologi at se på ganske få lokaliteter.

Med bil over Helsingør-Hålsingborg klares turen let på en dag med tid til at lege turist i en særpræget del af Skåne. De omtalte lokaliteter kan besøges i en helt vilkårlig rækkefølge - formålet er ikke en kronologisk gennemgang af den geologiske historie, men at demonstrere eksempler på vidt forskellige geologiske processer som en lille "Geologisk ABC". Husk i øvrigt at medbringe en hammer og en lup eller forstørrelsesglas.

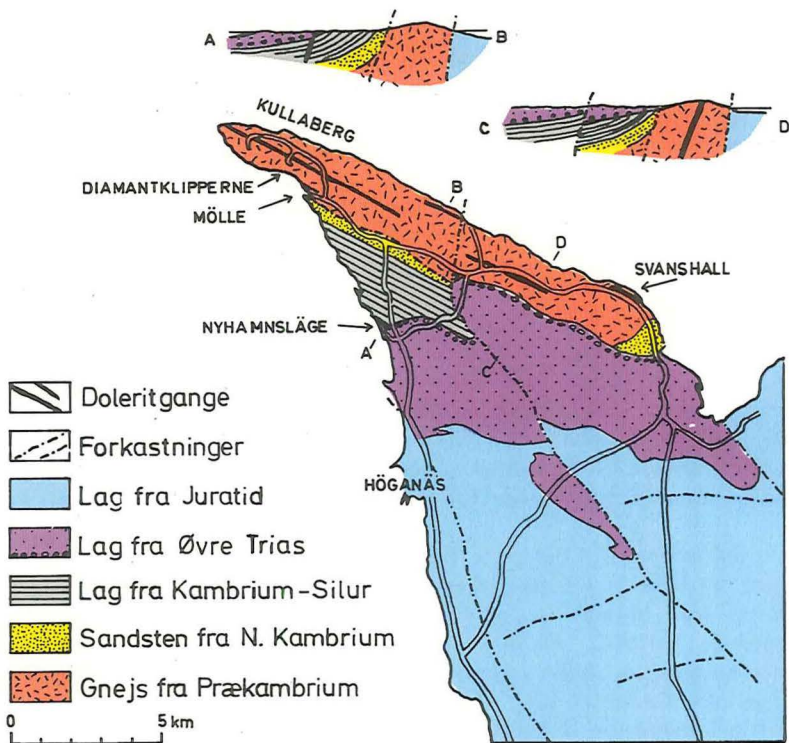


Figur 1.

## HVORFOR ER KULLEN NOGET SÆRLIGT ?

Den geologiske udvikling i Øresundsregionen har gennem hundreder af millioner år været bestemt af en fremtrædende brudzone nordvest-sydøst gennem Skåne (se figur 1). Vest for brudzonen er området sunket ned, og efter at istidens gletschere lavede et nogenlunde vandret snit gennem hele lagserien blev resultatet, at der nu under et tyndt dække af istidsbjergarter findes vidt forskellige bjergarter på de to sider af Øresund. Undergrundens overflade i Nordsjælland tilhører ældste Tertiærtid i form af kalksten fra Danien-etagen - men på den skånske side ses meget ældre bjergarter.

Betydende brudzoner har ofte en lang geologisk levetid, hvilket vil sige, at der fra tid til anden gennem årmillionerne kan ske vertikale forskydninger i brudzonens system af parallelle forkastninger. Således er nordvest-sydøst gående rygge (åse) af Prækambrisk gnejs blevet skudt op, og lige uden om åsene kan ses gamle aflejringer fra Kambrium til Silur - bevaret som "slæb" op mod forkastningerne (se figur 2). Forkastningerne fik i øvrigt en anden konsekvens, idet sprækkedannelserne kunne nå så langt ned, at smeltmasser trængte op og størknede i sprækkerne som sorte gange bestående af bjergarten dolerit, der er en mellemkornet variant af den fin-kornede vulkanske bjergart basalt.



Figur 2. Forenklet geologisk kort over Kullen-området. A-B og C-D viser to forskellige lodrette snit. I snittet A-B ses tydeligt at lagene buer op som "slæb" mod den opskudte grundfjeldsås, bemærk også, at doleriten ikke skærer gennem Trias-lagene, som da må være yngre. I snittet C-D ses en forkastning at skære gennem Trias-lagene.

Det er nu tiden at omtale de enkelte lokaliteter og prøve at tolke nogle geologiske hændelsesforløb. Vi vil vurdere hver lokalitet for sig, og læseren kan frit lægge sin rute med hensyntagen til øvrige gøremål.

### NYHAMNSLÄGE

Fra Hålsingborg køres ad strandvejen mod Höganäs og videre mod Kullen. De høje skorstene ved Höganäs markerer teglværker anlagt ved forekomster af ildfast ler fra ældre Juratid. Lagserien rummer også mange kullag, og til trods for en ringe kvalitet har kul været brudt her i små 200 år.

Man parkerer ved havnen og går mod nord langs stranden, som er fyldt med store blokke af granit og gnejs. Umiddelbart nord for havnen skal man kigge nøjere på foden af kystklinten. Her og der stikker noget stærkt rødfarvet ler frem, og desuden kan ses grovkornede sandsten eller konglomerater med rullesten af Prækambrisk gnejs, lerskifer fra Silur, og en sjælden gang sort dolerit.

Leret, sandstenen og konglomeratet stammer fra den yngre del af Triastid, og de røde farvetoner tyder på et varmt klima - de øvrige egenskaber ved aflejringerne kan yderligere fortælle, at klimaet var tørt og ørkenagtigt, ellers ville man ikke vente at finde relativt friske, kantede brudstykker af mineralet feldspat. Den totale mangel på forsteninger og hulter-til-bulter sammenblandingen af mange forskellige kornstørrelser antyder hurtig aflejring i søer eller vandløb, som fra tid til anden tørrede ud. Konglomeraternes indhold af Prækambrisk gnejs og feldspat samt Silurtids skifer viser, at der inden yngre Trias må være sket hævnning af åsene - og aflejringerne fra Kambrium, Ordovicium og Silur er hurtigt afrømmet, så nedbrydningen kunne tage fat i det højtliggende grundfjeld mod nord-øst.

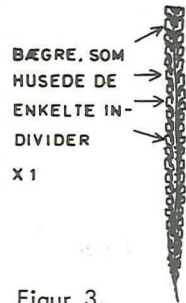
Rullestenene af dolerit i Triaskonglomeraterne fortæller, at doleritgangene (se figur 2) må være dannet inden yngre Trias, og det er nærliggende at tro, at hævnning af åsene samt gangenes dannelse hører til den forudgående Permtid. Netop i Permtid skete der forskellige justeringer i den nordeuropæiske jordskorpe som reaktion på en afsluttet bjergkædefoldning gennem Centraleuropa - i Osloområdet skete indsynkninger ledsaget af kraftig vulkanisme, i Danmark opstod ved indsynkning de bassiner, som senere i Perm blev hjemstedet for mægtige aflejringer af stensalt, og endelig tænkes Bornholm at være skudt op som en forkastningsbegrænset horst på dette tidspunkt.

Alt imens må Skåne have ligget over havniveau. Triaslag, beslægtet med de skånske, kan findes et enkelt sted på Bornholms sydkyst og i dybe borer i den vestdanske undergrund, hvor der i øvrigt findes indslag af stensalt, som viser havets kortvarige indtrængen og ligeledes viser hen til et tørt og varmt klima.

Lige nord for havnen kan på stranden desuden ses større blokke bestående af en hvidliggrå finsandet bjergart med sorte striber, som er kullag. Disse lokale blokke er fra ældre Juratid, og man bemærker som noget særligt, at der findes rodhorisonter under kullagene. Det viser, at kullene er dannet af planter, som har vokset på stedet.

Vi går videre mod nord langs stranden og bemærker godt 700 meter nord for havnen nogle "fingre", som rækker ud i vandet. "Fingrene" er en nordvestgående doleritgang, som skærer gennem en ligeledes sort lerskifer fra ældre Silurtid. Da gangen er ret smal, størknede den hurtigt ved afkøling mod sidestenen og blev derfor uhyre finkornet eller tæt. Allige-

vel er den omgivende skifer blevet godt bagt ved kontakt med den glødende smeltetmasse. Vil man se nærmere på skiferen, må man ty til den meterhøje kystskrænt her og se på bjergarten et stykke borte fra doleritgangen. Ved at flække skiferen kan man være heldig at finde nogle forsteninger - især grafitskinrende aftryk af de kolonidannende graptoliter (for eksempel Climacograptus, figur 3). Forsteningerne viser netop en alder svarende til den ældre del af Silurperioden, og da doleritgangen skærer gennem skiferen, må gangene være yngre - et simpelt geologisk resonnement - og, som antydnet ovenfor, er nordvest-sydøst gangene formentlig fra Permtid.



Figur 3.  
Climacograptus.

Ser man nøjere på doleritgangen, finder man tynde udløbere (apofyser) ind i den omgivende skifer. Guldskinrende korn af mineralet svovl-kis i skiferen skyldes en reaktion mellem det allestedsnærværende jern og svovl, som kan stamme fra organiske rester i skiferen. Endelig er doleriten gennemsat af smalle hvide årer bestående af mineralet kalkspat (ridses let med en kniv). Kalkspaten er udfældet af vandige opløsninger efter doleritens dannelse.

Nu går man op fra stranden og tilbage til havnen ad den nærliggende vej.

## DIAMANTKLIPPERNE

Fra Nyhamnsløge køres mod nord, gennem Mølle, og halvvejs ud mod fyret drejes til venstre gennem skoven. Man parkerer lige over stranden ved Diamantklipperne. Gå ned til kysten og gå mod venstre (sydøst).

Kortet (figur 2) viser, at man nu befinder sig på selve den Prækambriske ås bestående af gnejs - og hvad ser man? Strandklipperne er tydeligt "lagdelte" og stærkt foldede. På nærmere hold ses, at bjergarten består af mineralerne kvarts (glasagtig), feldspat (lyst rødlige korn med tydelige spalteflader), biotit (= mørk glimmer, tynde skæl) og hornblende (sorte korn, som kan være stænglede). Strukturen og mineralerne fortæller, at det drejer sig om bjergarten gnejs, der opstår ved omkrystallisation i dybet af andre bjergarter - oftest i tilknytning til større bjergkædefoldninger, som i dette tilfælde ligger langt tilbage i Prækambrium. Ved omkrystallisationen tilpasser mineralerne sig de ændrede tryk/temperaturforhold, og afhængig af udgangsbjergarternes kemiske sammensætning kommer der variationer i de indbyrdes mængder af de nydannede mineraler - det kan give gnejsen et båndet eller flammert udseende.



Doleritgang nord for Nyhamnsläge. Gangen skærer gennem lerskifer fra overgangen Ordovicium/Silur. Over et stykke (øverst til venstre) følger gangen lagdelingen i den sorte skifer. De lyse årer er yngre kalkspatgange. Foto: Erik Schou Jensen.

Her er gnejsen imidlertid nogenlunde homogen, bortset fra indslag af tynde mørke bånd domineret af mineralet hornblende. Godt 100 meter sydøst for nedgangen til stranden optræder et godt 15 meter bredt sort lag - ligeledes domineret af hornblende - men også indeholdende rundagtige stærkt røde korn af mineralet granat samt enkelte hvidlige korn af feldspat. Hvide årer gennem bjergarten er senere afsat kalkspat. Når man står på stedet, får man let det indtryk, at det drejer sig om en bred gang gennem gnejsen - og det er en rigtig konklusion. Ganske vist er gangen orienteret i overensstemmelse med gnejsens hovedstruktur (her nærmest nord-syd), og kontakten til gnejsen er noget diffus. Man må forestille sig følgende forløb: De oprindelige bjergarter på stedet gennemsattes af sprækker, som udfyldtes af doleritgange. Ved senere foldning og omkrystallisation blev lokalbjergarten til gnejs, og doleriten, som havde en anden mineralsammensætning blev til amfibolit. Bjergartsbetegnelsen amfibolit henviser til dominansen af hornblende, der hører til mineralgruppen amfibolerne.



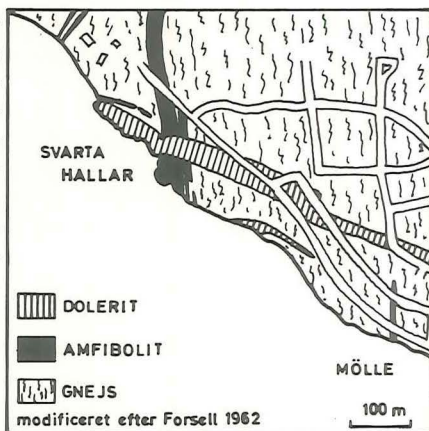
Fra det store amfibolitbånd går man tilbage samme vej til parkeringspladsen.

Fra Diamantklipperne køres tilbage op til vejen og til venstre mod Kullens fyr. Lige hvor vejen slutter, skærer den gennem en markant nordvest-sydøst gående doleritgang fra Perm. Her kan man finde sig et godt sted med udsigt og nyde madpakken og thermokaffen. Højst tænkeligt vil man sidde på en gnejs, som nøje svarer til den ved Diamantklipperne, og mørke lag i gnejsen er også her amfibolit - forhenværende doleritgange.

## SVARTA HALLAR VED MÖLLE

Man kører tilbage til Mölle, kører i retning af havnen, drejer til højre (mod nordvest) og kører godt 700 meter omtrent til enden af kystvejen (se figur 4).

Hovedbjergarten er også her gnejs, der ved enden af vejen skæres af et bredt og flere smalle amfibolitbånd. Det bedste indtryk af bjergarten får man på den lille "næse" helt ude ved kysten. Amfiboliten er her yngre end den ved Diamantklipperne og hører til en yngre Prækambrisk bevægelsesfase. Bevægelser og omdannelse fandt sted efter doleritens fremtrængen - derfor er doleriten også her blevet til amfibolit (med hornblende, granat og feldspat). Især de tynde amfibolitbånd viser tegn på bevægelser og kan være beklædt med et grønligt glimmermineral (klorit). Amfiboliterne afviger i øvrigt også ved her at have en skarp kontakt til den omgivende gnejs.



Figur 4.

For at komplicere billedet skærer en bred Permisk doleritgang lige gennem gnejs og amfibolit. Lokaliteten kan være et eksempel på en meget vigtig arbejdsmetode til bestemmelse af relative aldre. Især inden for Prækambrium, hvor man ikke har hjælp af forsteninger, kan successive generationer af forkastninger, gange og omdannede gange fungere som det geologiske "ur's timeviser", der i det mindste giver rækkefølgen af begivenheder.

## SVANSHALL

Fra Mölle køres mod sydøst over Brunnby til Svanshall, hvor der parkeres ved havnen. Herfra går man langs stranden mod sydøst.

På det første stykke ses en ret homogen lyst rødlig gnejs - et enkelt sted gennemskåret af endnu en Permisk doleritgang. Her er det tydeligt at se, at kontaktzonen til gnejsen på grund af hurtig afkøling er meget finkornet, mens kornene centralt i gangen, hvor afkølingen gik langsommere, er betydeligt større.

Går man videre, ændrer bjergarten helt karakter, idet gnejsen overlejres direkte af sandsten, som nederst er noget rødlig, men hurtigt bliver tydeligt hvidgrå. En sådan sandsten, næsten udelukkende bestående af omlejrede kvartskorn, kan være vanskelig at placere aldersmæssigt.

For det første bemærker man, at sandstenen er meget hård på grund af en rigelig mængde kvartscement. Dernæst, at sorteringen er god, det vil sige, at flertallet af kvartskornene meget nær har samme størrelse - de fleste lag virker "sukkergrynede", men der ses enkelte mere grovkornede, grusagtige lag. Udseendet svarer slet ikke til de omtalte Trias- og Jurasandsten fra Nyhamnsåge, og aflejringen er da også foregået i helt andet miljø - nemlig i havet, hvor strøm på lavt vand har haft mulighed for at sortere sandkornene efter størrelse.

At aflejring har fundet sted i havet fremgår af, at visse af lagene indeholder gravgange af form som U-formede rør, med tragtformede mundingar i de lagflader, som på det pågældende tidspunkt udgjorde selve havbunden. Takket være opsprækning af den hårde sandsten kan man på vertikale snitflader stedvis se rørene i deres helhed.

Organismerne - det er fristende at sige orme, men vi kender ikke beboerne - gravede i den endnu bløde havbund, og guirlande-buer mellem U-rørens grene viser, at dyrene har forskudt gangene op eller ned i takt med aflejring af nyt sand eller bortskylning af allerede aflejret materiale.

Denne type gravgang fortæller på samme tid om beboernes levevis og om havdybden. Rørene har tjent som beboelse, og organismerne har ernæret sig ved at indfange organiske partikler, der til stadighed kunne holdes svævende i det urolige vand - med andre ord har havdybden været lav.

Selv om man ikke kan finde egentlige forsteninger her, kan sandstenen med stor sikkerhed henføres til den ældre del af den Kambriske periode - for netop på den tid var ganske identiske sandsten udbredt over store dele af Jorden - alle med U-rørene, som bærer navnet Diplokraterion. Blandt de nærmestliggende forekomster er Østskåne ved Simrishamn, Østbornholm (Snogebæk), og Mjøsien i Norge. I alle områder, hvor sådanne Diplokraterion-sandsten optræder, findes egentlige forsteninger i overliggende lag, som dog ikke er bevaret her ved Svanshall.

Herfra søger man lige op til kystvejen og går omtrent 1 kilometer tilbage til havnen. Programmet for dagen er slut, og vil man nu direkte hjem, kan man køre fra Svanshall direkte mod syd over Jonstorp, Mjdhult og Allerum til Hålsingborg.

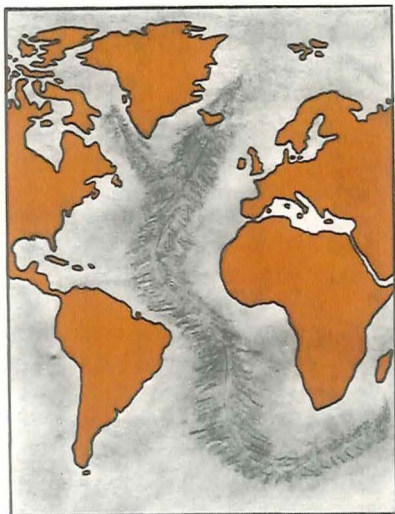
# PROCESSER I DYBET

af Sven Maaløe

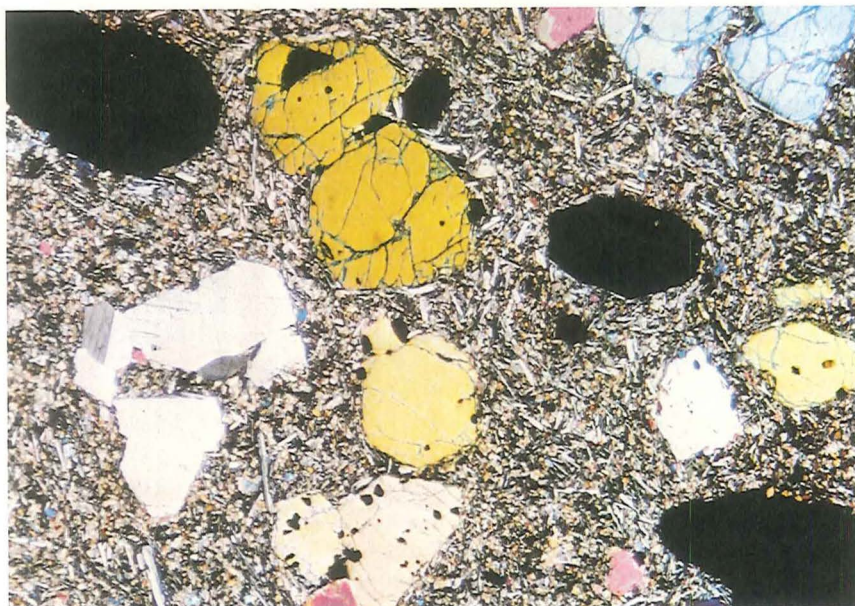
Magnetiske målinger og radiometriske aldersbestemmelser har påvist at der hele tiden sker en nydannelse af oceanbund ude langs de midtoceane rygges brudzoner (riftzoner). Den midtatlantiske ryg, der er vist på figur 1, er en sådan midtocean ryg. Den forløber midt ned gennem Atlanterhavet og selve riftzonen 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  $1100^{\circ}\text{C}$ , medens den i Jordens centrum påregnes at være omkring  $6000^{\circ}\text{C}$ . 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.



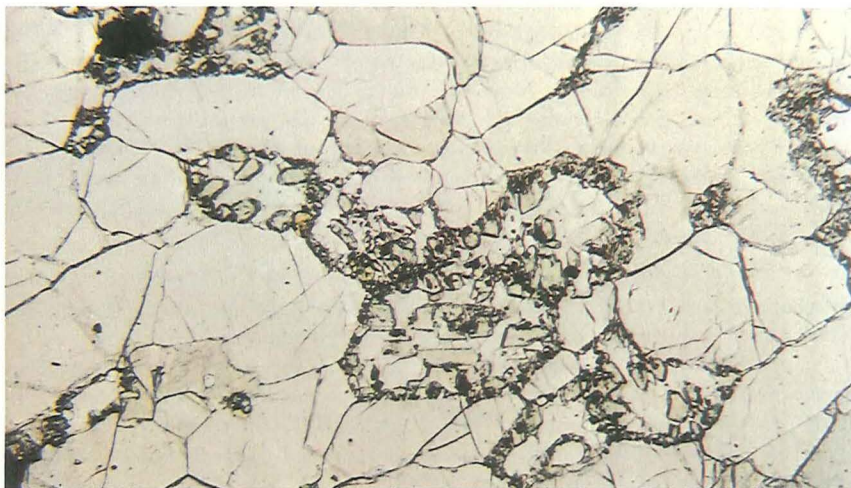
Figur 1. Atlanterhavets havbund. Den midatlantiske ryg udgør cirka 30% af havbunden og befinder sig i den midterste del af Atlanterhavet. Selve riftzonen findes i den centrale del af ryggen og er fra 10 til 50 km bred (se figur 6). Den ældste havbund er 150 millioner år gammel og findes inde ved kontinenterne,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

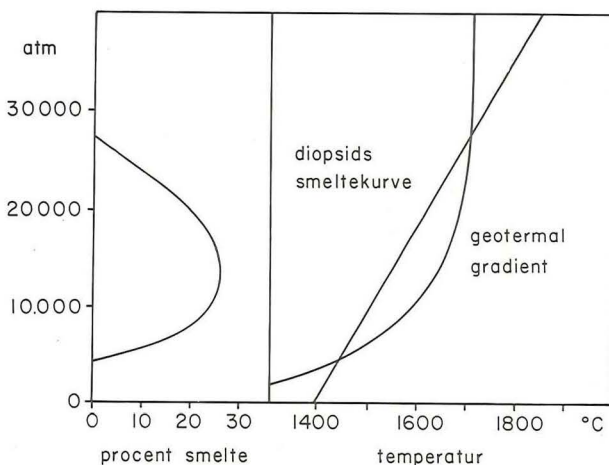
Temperaturstigningen indefter bevirker, at den del af kappen der findes i 650 km's dybde bliver lettere, det vil sige har en mindre vægtfylde end den overliggende del. Selve mekanikken for konvektionen kan forstås ved at betragte en gryde med vand, der varmes op. Til at begynde med er vandet stillestående, 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 temperaturforskkel 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 Ihazolitens 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  $1390^{\circ}\text{C}$  ved 1 atmosfære og  $1700^{\circ}\text{C}$  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-



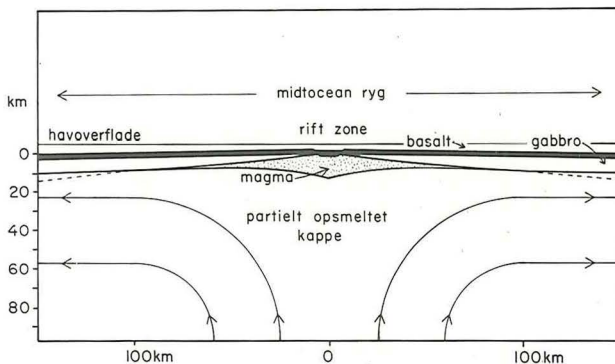
Figur 5. Det højre diagram viser et eksempel på en geotermal gradient samt diopsids smeltepunktskurve. I det trykinterval, hvor den geotermale gradient har en højere temperatur end diopsids smeltepunkt vil der dannes smelte. Den procentvise mængde af smelte er vist i diagrammet til venstre.

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  $1700^{\circ}\text{C}$ . 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  $1640^{\circ}\text{C}$ . Da diopsidsens temperatur oprindeligt var  $1700^{\circ}\text{C}$  vil der følgende være en temperaturforskel på  $60^{\circ}\text{C}$  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  $1^{\circ}\text{C}$  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  $60^{\circ}\text{C}$  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  $1^{\circ}$ .

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 mine-ralforekomster, 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) igangsæt 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.

Narssaq-projektet omfatter også studier af nogle områder længere væk fra Ilimaussaq-intrusionen, de såkaldte referenceområder, hvor fjeldundergrunden er mere normal, og overvejende består af granit. Undersøgelserne i referenceområderne giver oplysninger om de naturgivne forholdsforløb og indvirken uden den forstyrrende effekt fra Ilimaussaqs bjergarter og mineraler.

At det naturskabte miljø inden for Ilimaussaq-intrusionen og dens nærhed allerede er præget af en ret høj grad af forurening, kan blandt andet ses af, at Narssaq elv stedvis har et fluorindhold, der ligger over det, der normalt anses for ønskeligt ud fra sundhedsmæssige betragtninger. Fluorindholdet stammer fra det vandopløselige mineral villiaumit (NaF), der er påvist i stor mængde i borekerner blandt andet fra Kvane-fjeld. Mineraliet ses ikke i overfladen, da det her allerede er opløst.

Målinger og beregninger har vist, at Narssaq elven siden sidste istid, det vil sige, i løbet af de sidste cirka 10.000 år har ført over 10.000 tons fluor ud i fjorden. I visse dele af elven er uranindholdet også højere end gennemsnitsværdierne for områdets elve, uden at dette dog indebærer nogen sundhedsfare for mennesker og dyr.

Naturskabte "forureninger" af denne type påvirker ikke alene jordbunden og vandets indhold af mere eller mindre uønskede grundstoffer, det geokemiske miljø, men har selvsagt også indflydelse på områdets plante og dyreliv, hvad enten nu dette udfolder sig på landjorden eller i det ferske og salte vand. Narssaq-projektet er derfor tilrettelagt som et tværvidenskabeligt projekt, med deltagelse af geologer, geokemikere, botanikere, terrestriske zoologer, marinbiologer, ferskvandsbiologer og hydrologer. Projektet udføres som et samarbejde mellem medarbejdere ved Grønlands geologiske Undersøgelse (GGU), flere institutter ved Københavns universitet og Afdelingen for Farmakologi og Toksikologi ved Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, og projektet er som nævnt baseret på økonomisk støtte fra Statens naturvidenskabelige Forskningsråd.

## DEN RØDE TRÅD

Den røde tråd i Narssaq-projektet er at følge de enkelte grundstoffers vandring fra det øjeblik de af forvitningsprocesser løsnes fra de faste bjergarter og transporteres bort af nedsvivende og afstrømmende vand for derefter at indgå i jordbundsdannelsen eller blive ført ud i elve, søer og fjorde, hvor de indgår i det geologiske og biologiske kredsløb. Nogle forvitningsprodukter optages allerede nær forvitningsstedet i planter og dyr, mens andre optages af organismer langt fra forvitningsstedet. Grundstoffernes vandringsveje søges således belyst inden for rammerne af de økologiske systemer, der findes i området.

Ilimaussaq-intrusionen og dens omgivelser har været genstand for geologiske undersøgelser siden århundredeskiftet, og fjeldgrunden i hele området er af GGU geologisk kortlagt i målestoksforholdet 1 : 100.000 og

enkeltområder mere detaljeret. Da områdets kvartærgeologi og jordartsforhold imidlertid er mindre velkendt, omfatter projektet en udredning af istidens gletscheres bevægelse og en klarlægning af afsmeltningforløbet som grundlag for en analyse af de løse dæklags geologiske historie. Et sådant kendskab er blandt andet en nødvendig forudsætning for at kunne vurdere, hvorledes de geokemiske forhold var, da pionerplanterne koloniserede de tidligere nedisede områder, og bedømme hvorledes den senere jordbundsudvikling er skredet frem.



Den første fase i grundstoffernes vandring er knyttet til selve forvitringen af det faste fjeld og i de løse ubevoksede aflejringer af smuldret bjergartsmateriale. Undersøgelsen starter derfor med prøvetagning i det uforvitrede fjeld med en transportabel kerneboremaskine, udhugning af store prøver af den faste forvitringsskorpe, og indsamling af prøver af ikke-transporterede smuldringsprodukter. Dette prøvemateriale analyseres kemisk for at klarlægge, hvad der sker med de enkelte mineraler under forvitringens nedbrydning af bjergarterne.

Forvitringsgrus og smuldrede bjergarter har flere steder dannet udgangsmateriale for en jordbundsdannelse, der startede, hvor planter indvandrede og dækkede materialet. Til belysning af jordbundsformationen er der gravet et stort antal huller i de forskellige bjergarters forvitringsskæker og jordbundsprofilerne er blevet omhyggeligt opmålt og beskrevet ligesom prøver fra de forskellige jordbundshorisonter er blevet udtaget til kemisk analyse.



Vegetationen (plantedækket) på Ilimaussaq-intrusionens bjergarter er meget sparsom set i forhold til de omgivende granitområders, og et af projektets formål har da også været at afklare, om dette skyldes forskelle i fjeldgrundens kemi eller dens forvitringsmåde. Ilimaussaq bjergarternes og de granitiske referenceområders plantedække er derfor undersøgt og kortlagt for at påvise mulige relationer mellem bjergarter og planter, samt i givet fald at bestemme de styrende økologiske faktorer. Ved kortlægningen er blevet udskilt en række plantesamfund som pilekrat, dværgbuskhede, fjeldhede og urteli, og et stort antal planteprøver (frø, blade, bark og rødder) er blevet indsamlet til kemisk analyse. Det er blandt andet blevet påvist, at yngleknopper på topspirende pileurt er gode indikatorer ("spørhundene") for de sjældne stoffer fra intrusionen, da knopperne optager disse stoffer i relativt stor mængde, hvor de har været tilgængelige for planterne. Ved at studere områder, hvor vegetationen blev ryddet i 1960, har det kunnet eftervises at planternes indvandringshastighed som forventet er uhyre langsom.



Jordbundsudviklingen inden for intrusionen er gennemgående på et begyndende stadium og egentlig horisontudvikling er begrænset til få og små områder. Den mest fremskredne jordbundsdannelse, som er konstateret, er podsoljorde. Billedet viser eksempel på et forholdsvis veludviklet profil, hvor der øverst findes en morhorisont efterfulgt af et tydeligt blegsandslag og derunder al-dannelse. Profilet viser, at jernet, der er fjernet fra blegsandslaget, er genafsat i dybere niveau.

Foto: Carsten Langtofte.



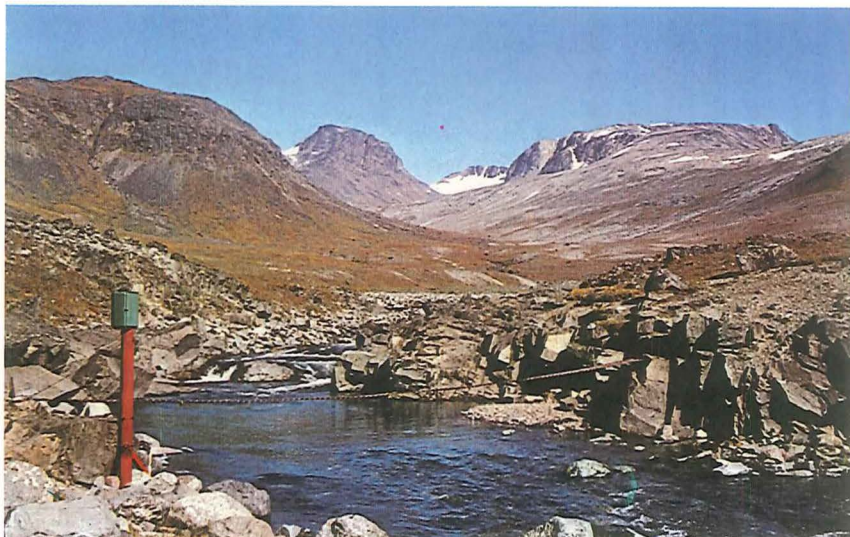
Da områdets marinibiologi næsten var ukendt ved projektets start blev den første sæson brugt til en generel undersøgelse af dyre- og plantelivet i det salte vand samt til at finde frem til de organismer, der bedst egner sig som indikatorer for de grundstoffer, som præger området. Herefter har undersøgelsen været koncentreret om at kortlægge tungmetalkoncentrationer i havvandet og i udvalgte organismer. De naturlige koncentrationer i området er blevet specielt belyst ved hjælp af kemiske analyser af forskellige dele af blåmusling og af store tangplanter. Der er konstateret høje koncentrationer af visse af de metaller som er karakteristiske for Ili-maussaquintrusionens bjergarter, for eksempel alle lanthaniderne (de sjældne jordarters metaller). De høje koncentrationer findes især omkring udløbet af de elve, som afvander intrusionen. Koncentrationerne er højest i Narssaq elvens delta, noget lavere i udløbene af Lilleelv og Lakseelv i Kangerdluarssuk.

Fjordvandets hydrografiske forhold (det vil sige temperatur, saltholdighed og iltindhold) er blevet studeret i fjorden Kangerdluarssuk, der skæ-

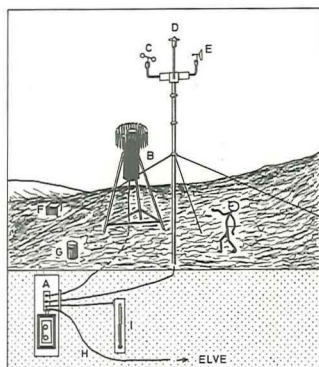
rer gennem Ilimaussaq-intrusionens sydlige halvdel. Hertil benyttedes elektronisk og mekanisk udstyr, og der blev taget et stort antal vandprøver til kemisk analyse. Ekkolodundersøgelser har vist, at Kangerdluarssuk er en tærskelfjord, hvor der inden for tærsklen og under tærskeldybde (40 meter) i store dele af året er en meget kold og stagnerende vandmasse, som kun i ringe grad udveksles med de overliggende vandlag. De kemiske undersøgelser har blandt andet vist, at der i fjorden lokalt findes vandlag med meget høje zinkindhold.



Formålet med de limnologiske undersøgelser har været at bestemme den kemiske sammensætning af vandet i søer og elve, samt at undersøge hvorvidt de kemiske variationer afspejles i dyr og planter. Endvidere er størrelsen af planktonproduktionen, det første led i søernes fødekæde, søgt bestemt ved at måle organismernes optagelse af radioaktivt kulstof. De foreløbige resultater har vist, at søerne er ekstremt næringsfattige, idet flere dog har en stor produktion af kiselalger. Den lave primærproduktion giver søerne en meget stor sigtdybde og dermed en dyblå farve.



Narssaq elvdal. I forgrunden til venstre vandstandsmåler, midt i billedet smeltevandsterrasser. Kvanefjeld ses til venstre i billedet. I baggrunden Narssaq gletscher og til venstre for denne Ilimaussaq fjeld.



Meteorologisk station ved Narssaq. En datalogger (A) indkoder signalerne på magnetbånd. Signalerne informerer om temperatur (F), luftfugtighed (F), nedbør (B og G), vindretning og -styrke (E og C), solindstråling (D), jordtemperatur (I) og vandstanden i tre elve (H). vandstanden omsættes til total vandføring.

Et indgående kendskab til de klimatiske forhold, det vil sige nedbør, temperatur, luftfugtighed, vindretning, vindstyrke og så videre, samt til vandføringen i elvene er en forudsætning for den endelige vurdering af resultaterne af de ovenfor nævnte delprojekter.

Klimatiske undersøgelser er foretaget i Narssaq-området siden 1965 som led i den internationale hydrologiske dekade. Undersøgelserne er i væsentlig udvidet form fortsat under Narssaq-projektet, og blev i 1975 yderligere udvidet til at omfatte helårs-registrering gennem opstilling af to automatiske meteorologiske stationer.

I målingerne af vandbalancen i Narssaq elvdal indgår bestemmelse af afsmeltning og nedbør med mere på Narssaq-gletscheren, hvorfra Narssaq elv udspringer. Der er i Narssaq elv målt en vandføring på 1-15 m<sup>3</sup>/sekund. Nedbøren i området varierer fra 1000 til 3500 mm pr. år inden for korte afstande.

## DEN RØDE TRÅD MÅ IKKE BRISTE.

Narssaq-projektets røde tråd er som nævnt at fastlægge de enkelte grundstoffers vandring fra de faste klipper og ud i det omgivende miljø. De koncentrationer, der er tale om, varierer fra flere procent til ppb-niveauet (ppb = parts per billion, det vil sige 1 pr. 1.000.000.000) - 1 mg pr. ton). Det er derfor nødvendigt at forhindre, at de indsamlede prøver kontamineres (forurenes) i forbindelse med prøvetagningen og forsendelsen eller under selve analysearbejdet. Man kan for eksempel ikke benytte metalværktøj til indsamling af jordprøver, idet dette kan forurene prøverne med metaller. Vand må indsamles i beholdere belagt med et materiale, som ikke tilfører prøverne uønskede stoffer eller binder vandets opløste stoffer. Jordprøver, det biologiske materiale og vandprøverne er blevet nedfrosset i lejrene og transporteret til Danmark i frosset tilstand. Her opbevares materialet i dybfryser, indtil videre behandling foregår.

Som et eksempel på den omhu der bør udvises ved prøvetagningen kan nævnes, at hvis et enkelt korn af eudialyt på 1 mm<sup>3</sup> overses ved rensningen af en musling (1 gram tørvægt) vil dette medføre en forurening af analysen beløbende sig til cirka 400 ppm Zr, 30 ppm Nb og 200 ppm sjældne jordartsmetaller.

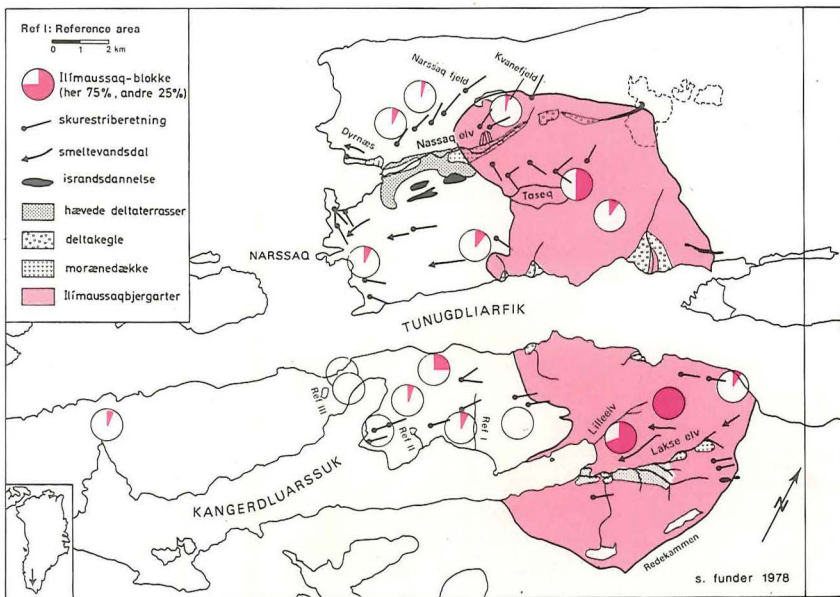
Men selv om alle sikkerhedsforanstaltninger mod forurening af prøvematerialet tages, hører problemerne ikke op hermed. Den røde tråd kan også bryde under selve analysearbejdet. Dette skal udføres, således at så mange grundstoffer som muligt, også de sjældne, kan bestemmes, prøveoparbejdningen skal være enkel og detektionsgrænsen (mindste bestemmelige mængde) skal være lav. Det sidste gælder især de biologiske prøver. Endelig er det vigtigt, at den anvendte analysemetode er ikke-destruktiv, så analysen kan gentages og andre undersøgelser kan udføres på den samme prøvemængde. Den prøvemængde, der er til rådighed er i nogle tilfælde kun få milligram, i andre tilfælde flere gram.

Næsten alle disse krav og betingelser opfyldes af én metode, instrumentalneutronaktiveringsanalyse (INAA), hvor prøvematerialet udsættes for en nøje defineret bestråling med neutroner i en reaktor. Mange af prøvens grundstoffer omdannes derved til radioaktive isotoper. Ved måling af gammastrålingen, der udsendes fra de således dannede isotoper, kan indholdet af de aktiverede grundstoffer bestemmes. Denne metode gør det muligt at analysere for cirka 38 grundstoffer med en rimelig lav detektionsgrænse. Bestrålingen foretages i Risø's DR-3 reaktor, og analysegangen er blevet udviklet som led i Narssaq-projektet. Ved prøvetilberedningen af det biologiske materiale er frysetørring blevet benyttet med henblik på at opkoncentrere indholdet af sjældne grundstoffer.

På afdelingen for farmakologi og toksikologi ved Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole er prøvernes indhold af methykviksølv og pesticider endvidere blevet bestemt, og enkelte prøver er blevet analyseret for total kviksølv for at sikre overensstemmelse med de ved INAA fundne værdier. Det undersøgte materiale har som forventet et uhyre lavt indhold af pesticider og de analyserede grønlandske fisk har vist sig at høre til de mindst "forurenede" i Verden.

## STATUS OVER DET RØDE GARNNØGLE

Narssaq-projektets første hovedfase med feltarbejde blev afsluttet i 1976, og det meste af det omfattende prøvemateriale er nu analyseret ved INAA. Men selv om flere af projektdeltagerne har afsluttet delundersøgelser, vil en samlet redegørelse for det naturlige miljø i Narssaq-området ikke kunne forventes at foreligge før end om 2-3 år. Dette vil imidlertid også blive i rimelig god tid, før en eventuel mineaktivitet vil kunne startes op, så opfyldelsen af projektets formål skulle være sikret.



Under istiden hvor havniveauet lå meget lavere, var området dækket af is, der bevægede sig gennem fjorddalene og bragte sten og blokke fra Ilimaussaq-intrusionen med sig mod vest. Kvartærgeologiske undersøgelser, der er foretaget som led i Narssaq-projektet har imidlertid vist, at sten og blokke fra intrusionen ikke er særlig hyppige uden for intrusionen, og kommer man blot 5-10 km væk, er de sjældne. En sammenligning af deres udbredelse med udbredelsen af andre istidsblokke i området antyder, at Ilimaussaq-bjergarterne har været særligt "skrøbelige": de er blevet knust og formalede under transporten og afsat som bjergartsmel, der nu indgår som en betydelig naturlig forurening af jordbunden i en zone, der mindst strækker sig 10 km mod vest fra Ilimaussaq-intrusionen.

Dateringer af grønlandsk materiale foretaget på Nationalmuseets og Danmarks geologiske Undersøgelser Kulstof-14 laboratorium, tyder på, at isen smeltede bort for 10.000 - 11.000 år siden. Tallene angiver den tid forvritingen og de jordbundsdannende processer har påvirket det isfri land.