

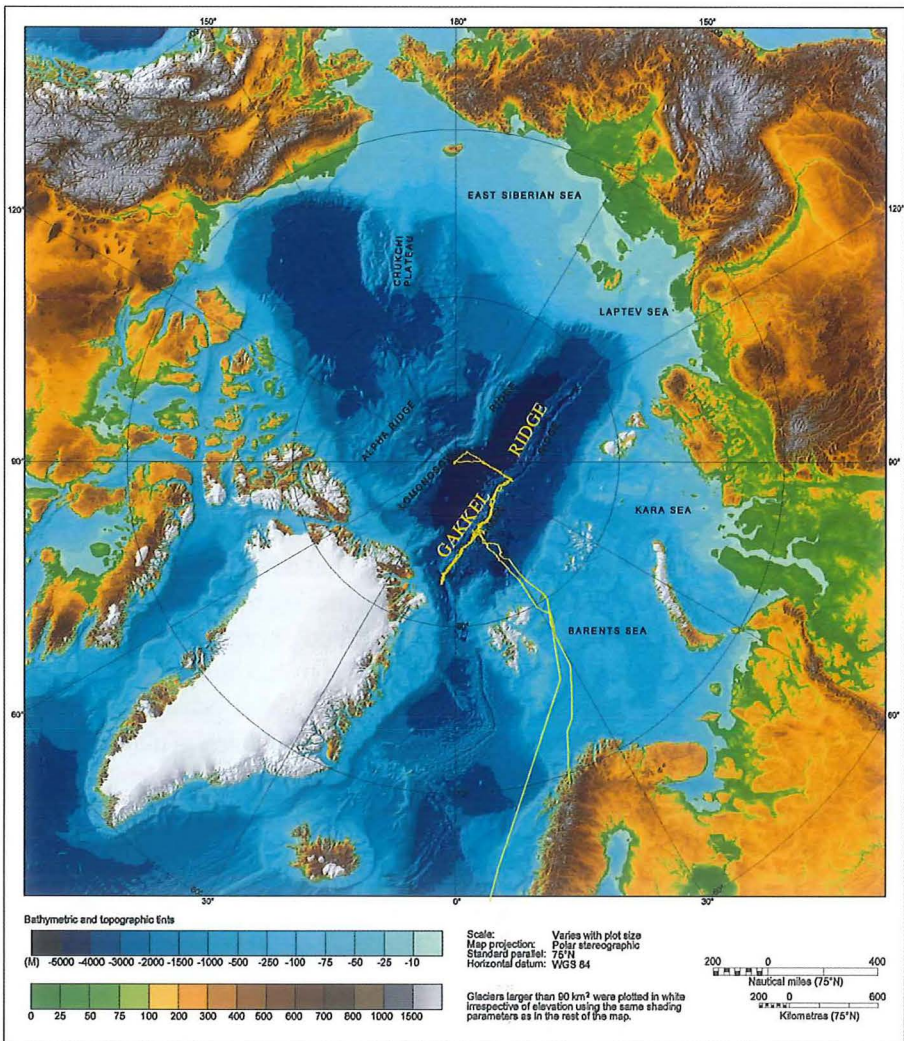
# OM VULKANERNE I DET ARKTISKE OCEAN

RESULTATER AV AMORE-2001 TOGTET

Jörn Thiede, Christian Haas,  
Wilfried Jokat, Richard Mühe, Jonathan Snow og Robert Spielhagen

Da Jules Verne for godt hundrede år siden i sin berømte roman skrev om rejsen til Jordens indre - gennem Islands vulkaner - vidste han ikke, at der rent faktisk var en slags underjordisk forbindelse mellem alle vulkanerne. Hans fantasi rakte således ikke til at forestille sig eksistensen af et verdensomspændende mere end 60.000 kilometer langt system af undersøiske, vulkanske, midtoceaniske højderygge, som kun undtagelsesvis hæver sig over havets overflade - som på Island. Denne lange kæde af undersøiske vulkaner har udviklet sig på grænserne mellem plader i jordskorpen, hvor havbunden spreder sig for at gøre plads til det opvældende magma. Sådanne grænser kaldes spredningsrygge. Magmaet leverer materiale til utallige vulkaner og fører til dannelsen af ny havbund. Gakkelryggen i den centrale østlige del af det Arktiske Ocean, som skal behandles i denne artikel, er en sådan spredningsryg og danner den nordlige udløber af pladegrænsen mellem Europa/Asien på den ene side og Nordamerika på den anden. Gakkelryggen er speciel, idet den åbner sig langsommere end andre spredningsrygge – kun få millimeter om året.

De to isbrydere Polarstern og Healy foretog i september og oktober 2001 et vellykket togt til Gakkelryggen. AMORE (Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition), som togtet kaldtes, er en milepæl i udforskningen af det Arktiske Ocean. Som et led i togtprogrammet (figur 1), der bl.a. indeholdt opmåling og prøvetagning langs den undersøiske ryg, blev der også gennemført undersøgelser i de tilgrænsende dybhavs bassiner. Skibene nåede Nordpolen den 6. september 2001, og for Healy var det højdepunktet på hendes videnskabelige jomfrurejse. Undervejs mødte de den svenske isbryder Oden (se forside), som var på vej tilbage til Svalbard fra Nordpolen med en international forskergruppe. For ti år siden - den 7. september 1991 - nåede Polarstern og Oden som de første konventionelt drevne forskningsplatforme Nordpolen. Det videnskabelige personale og besætningerne på de tre skibe udgjorde en international tværvideenskabelig gruppe fra 17 nationer: Australien, Brasilien, Kina, Tyskland, Estland, Finland, Storbritannien, Italien, Canada, Holland, Norge, Østrig, Rusland, Sverige, Schweiz, Spanien og USA.



Figur 1. AMORE-2001 togtets rute.

Forskning i Arktis er blevet et internationalt indsatsområde. Det Arktiske Ocean, hvis hemmeligheder for blot få år siden lå i et politisk kriseområde med militær konfrontation, bliver nu udforsket i et fredelig internationalt samarbejde.

Under togtet i 2001 blev den vestlige del af Gakkelryggen for første gang nøjagtigt kortlagt, og der blev taget prøver af havbunden. Under den drivende havis gemmer der sig en bjergkæde, der hæver sig op til mere end 3.000 meter over de tilgrænsende ca. 4.000 meter dybe dybhavs bassiner. Ryggen er delt op af en langtrukket, smal, næsten gennemgående dal, som præges af de dramatiske

tektoniske og vulkanske processer, der stadig foregår. De spændende resultater fra AMORE vedrører en lang række forskningsområder, herunder glaciologi, biologi, palæoceanologi, petrologi og geofysik og vil i uddrag blive præsenteret nedenfor.

#### PÅ JAGT EFTER HULLET I ISEN

En pressemeddelelse om, at Nordpolen var isfri, vakte sensation i år 2000. Det blev taget som tegn på opvarmningen af klimaet. At sådanne huller mellem isflagerne regelmæssigt opstår i stort tal om sommeren i Arktis, forsvandt i den ophedede diskussion. En af togtets opgaver var derfor at observere forandringer i isens tykkelse og fordeling. Dette blev gjort ved sammenligning med målinger, som blev foretaget ved tidligere togter af Polarstern i det centrale Arktiske Ocean i årene 1991 og 1998.

I sommeren 2001 blev der ikke fundet større åbne områder i isen omkring Nordpolen. Mere end 90% af overfladen var dækket af store gamle isflager med en diameter på flere kilometer (figur 2). Mellem flagerne var der smalle render, som var dækket af nysis. Isforholdene var således vanskeligere end året før (i 1999). Der var tydelige forandringer i de observerede tykkelser af isen fra



*Figur 2. Kæmpeisflage der består af is, som er flere år gammel. Isflagen har tydelige blå smeltvandspytter og en 'forvitret' isoverflade, som er typisk for sommeren.*



*Figur 3. 'HEM-BIRD' (helikopter-elektromagnetik-sonde) flyves i en højde af ca. 20 meter over isoverfladen og bruges til indsamling af geofysiske data til bestemmelse af istykkelse.*

1991 til 2001. Hvor den typiske istykkelse i området ved Gakkelryggen i 1991 var 2,5 meter, blev der i 2001 målt tykkelser mellem 1,9 meter og 2,1 meter. Årsagen til dette er endnu ikke klarlagt. Det er dog sandsynligt, at isen i området omkring Gakkelryggen var yngre i 2001, og at den stammede fra et andet område end i 1991.

Målingerne af istykkelsen blev hovedsageligt gennemført med en elektromagnetisk sonde, som blev trukket på en slæde henover den ofte nærmest ufremkommelige is. Der blev opmålt en profilstrækning på mere end 100 kilometer over i alt 52 isflager. Der blev også anvendt nye sonder, som gør det muligt at bestemme istykkelsen fra et skib i fart og fra helikopter (figur 3). De gennemførte målinger af istykkelsen tjener også til forberedelserne af ESA's (European Space Agency) 'CryoSat' satellitmission, som skal kortlægge isens tykkelse både i Arktis og Antarktis fra år 2004.

Målingerne af havisen omfattede endvidere bestemmelser af fysiske og biologiske egenskaber i isen og i smeltevandspytter på isflager. Til dette formål blev der boret iskerner. Satellit- og luftbillede blev undersøgt, ligesom isens tilbagestråling blev bestemt for forskellige overfladetyper. Der blev også gjort iagttagelser og foretaget eksperimenter med hensyn til små hvirvelløse dyrs fødeindtag. Disse dyr, hvis kropsvæsker ikke fryser, har tilpasset sig de ekstreme leveforhold i de små saltvandskanaler på isflagerne.

#### DET EVIGE ARKTISKE HAVISDÆKKE – HVOR LÆNGE ER EVIGT?

I dag er det centrale Arktiske Ocean permanent dækket af havis, selv om udvekslingsprocesser med 'nabohavene' og sæsonprægede smelteprocesser sørger for, at havisen højst bliver et par år gammel. Maringeologerne indsamlede på togtet sedimentkerner fra havbunden ud for de store sibiriske shelfområder for at kunne beskrive havisdækkets historie. Det er blevet klarlagt, at den gletscherdannelse, der foregik over store områder i Nordasien i den sidste istid, ikke skete efter samme mønster som i f.eks. Nordeuropa. De nyere kortlægninger på land tyder på, at nedsningsfasen satte relativt tidligt ind i de største områder. Området i Østsibirien forblev dog næsten isfrit under det senere skandinaviske nedsningsmaksimum.

Sedimentkernerne, som blev indsamlet under dette togt, skal være med til at underbygge det tidsmæssige forløb af nedsningsen, da dateringerne på land ofte er vanskelige at tyde. Store iskjolde på nærliggende landområder lader sig dokumentere i det Arktiske Ocean ved hjælp af tilstedeværelsen af grove og fine stenrester i sedimentet, som er blevet transporteret af isbjerge. Sedimentkernerne fra det område i Gakkelyggen ved 75° Ø, som ikke tidligere er blevet undersøgt, indeholder flere lag af groft sand og sten – typiske aflejringer fra smelteperioderne fra de store gletschere. De delvist abrupte skift i farve fra olivengrøn over brun i varme perioder til mørkegrønne lag fra kolde perioder gentager sig indtil 6 gange i en sedimentkerne, hvis ældste lag er ca. 200.000 år gamle.

Efterfølgende undersøgelser i laboratorierne skal opklare, hvor stor gletscherens udstrækning i Nordsibirien var i de enkelte perioder, hvilken rolle fugtighedstransporten fra tidvist eksisterende åbent vand spillede for isdannelsen, og hvornår smeltevandet fra de tøende gletschere nåede oceanet i de begyndende varmeperioder. Samtidig kan man kontrollere en hypotese, som amerikanske kolleger har opstillet med hensyn til en svømmende isshelf, der under Istiden skal have strakt sig helt ind i den nordlige polarregion. Denne hypotese holder ikke, idet man finder rester af planktoniske fossiler (foraminiferer og kokkolitter) i polhavets aflejringer fra istiden.

## PRÆCISIONSKORTLÆGNING

Der skal bruges nøjagtige kort til undersøgelse af havbunden. På lavere breddegrader er nøjagtige kort en selvfølge. I det Arktiske Ocean fik videnskaben først kendskab til havbundens morfologi, efter at den amerikanske marine kortvarigt stillede atomubåde til rådighed for den videnskabelige udforskning af polbassinet. I den forbindelse blev der optaget dybdeprofiler under isen, og der kunne således fremstilles et kort i grove træk for området omkring Gakkelryggen. Dette kort var et vigtigt led i planlægningen af AMORE-2001 ekspeditionen. Under AMORE ekspeditionen var isforholdene så gode, at det var muligt at udføre præcise dybdekortlægninger. Et værdifuldt resultat fra ekspeditionen er den nu foreliggende detaljerede og meget præcise kartografiske fremstilling af Gakkelryggens morfologi over en længde på næsten 500 sømil.

## GAKKELRYGGEN – ET VINDUE IGENNEM JORDSKORPEN

Der blev på toget foretaget geofysiske opmålinger for at kunne bestemme tykkelsen af jordskorpen langs med Gakkelryggen og de tilstødende dybhavs bassiner. Vore opmålinger af Gakkelryggen er et forsøg på at vise, om de globale modeller, der gengiver udbredelsen af meget langsomme rygsystemer, er rigtige, modeller der omfatter dominerende tektonisk eller vulkansk aktivitet. For at besvare dette



*Figur 4. For at indsamle seismiske data slæbes en række luftkanoner efter skibet.*

spørgsmål blev der anvendt et stort udvalg af forskellige metoder til at beskrive den aktive del af ryggen med hensyn til temperatur og tykkelse af jordskorpen, og der blev udført forsøg fra både isflager, skibet selv og fra helikopter.

For at kunne gennemføre de seismiske målinger (figur 4) var det nødvendigt med et tæt samarbejde mellem de to isbrydere. Et første gennemsyn af data-sættet viste, at tykkelsen af jordskorpen ved Gakkelryggen varierer meget. Den er fra 6 kilometer til bare nogle få hundrede meter tyk. Målingerne viser endvidere, at ryggen ikke svarer til de hidtidigt antagne modeller. Det er overraskende, at der tilsyneladende findes magmatiske centre med regelmæssige intervaller langs ryggen, hvor der produceres væsentligt mere basalt end i nabointervaller. Det blev også vist, at disse områder har været aktive gennem længere geologiske tidsrum.

Tre seismiske profiler fra de tilgrænsende bassiner er bemærkelsesværdige. De viser for første gang, hvor meget det oceaniske 'basement', som ligger gemt under op til flere kilometer tykke sedimentære aflejringer, varierer under den ellers flade havbund. En del af sedimentdækket er blevet transporteret fra kontinentalmarginen ned i dybhavsbassinet ved voldsomme skred.

Seismiske og magnetiske målinger har været væsentlige for at opnå en bedre forståelse af de geodynamiske processer, der finder sted under det Arktiske Ocean. For begge målemetoder blev der oprettet dataindsamlingsstationer på isflager. Det var muligt at registrere nogle enkle jordskælv langs Gakkelryggen. Metoderne har for første gang givet oplysninger om sammensætningen af jordskorpen under det Arktiske Ocean. Udover jordskælv fra Gakkelryggen og den nordlige halvkugle registrerede jordskælvstationerne også signaler fra Antarktis – jordskælv der ligger længere væk end 16.000 kilometer fra Gakkelryggen.

#### AKTIVE VULKANER I POLHAVET

Under den ca. 2 meter tykke is og på bunden af det 5.000 meter dybe Arktiske Ocean ligger de vulkaner, fra hvilke der ved hjælp af fjernstyrede griberedskaber (figur 5) blev indsamlet prøver. Med de ret grove redskaber kan man tage op til 3 tons stenmateriale fra havbunden på én gang. I alt blev der indsamlet mere end 10.000 enkeltprøver.

Det var ventet, at det undersøiske bjerglandskab mere var et udtryk for tektoniske bevægelser end for vulkanske processer på grund af den ringe spredningshastighed, og man regnede derfor med at finde overvejende peridotitter og gabbroer. Peridotitter er olivinrige magmatiske bjergarter fra den øverste del af kappen, og gabbroer (plagioklas-proxenbjergarter) dannes i den nederste del af oceanskorpen. Begge bjergartstyper kun kan komme op til overfladen af havbunden ved tektoniske bevægelser.



Figur 5. TV-styret griberedskab – et stort men meget virkningsfuldt redskab, som bruges til at optage prøver fra havbunden.

I størstedelen af stenprøverne fandt man basalter, som er størknede produkter af magma fra undersøiske vulkaner. Prøvernes form er udtryk for mødet mellem glødende lava og iskoldt havvand ved et undersøisk vulkanudbrud. Den varme lava afkøler til en tyk sort slangeformet glasrand, som lavaen flyder indeni. På den måde opstår såkaldte basaltpuder (figur 6), som danner de øverste godt 2.000 meter af den oceaniske skorpe. Der blev fundet basalter af typer, man ikke havde forventet at finde i Gakkelryggen. Det mest bemærkelsesværdige er de stærkt porfyriske basalter, hvis andel af store krystaller (ofte mere end 50%) kun kan forklares ved forekomsten af store magmakamre, hvor krystallerne har kunnet vokse. Deres forekomst er i klar modstrid med den tidligere formodning om, at den ekstremt langsomt spredende Gakkelryg (få millimeter om året) slet ikke kunne producere magma nok til at have et magmakammer. Yderligere argumenter mod den tidligere hypotese er forekomsten af gabbroer, som kun dannes ved magmakammervirksomhed.

Når prøverne var kommet ombord, blev der fremstillet mikroskoppræparater - tyndslib - på 0,03 millimeters tykkelse. Ud fra tyndslibene kan man ved hjælp af mikroskop allerede få timer efter bjærgningen af en prøve få præcise informationer om dens sammensætning og oprindelse, som dermed delvis kan forklares.





*Figur 6. Kæmpepude af basalt, som er omgivet af en typisk rynket glasskorpe. En sådan prøve vejer flere tons og kan kun bjærges af store griberedskaber (f.eks. det TV-styrede griberedskab på figur 5).*

Resultaterne viser, at der langs ryggen sker en forholdsvis ringe opsmeltning af bjergarter og dermed, at tykkelsen af skorpen er relativt lille. Dette udsagn er dog svært at bringe i overensstemmelse med den observerede vulkanske aktivitet. Detaljerede undersøgelser skal nu give oplysning om forholdet mellem spredningsraten, som er den hastighed, hvormed en plade bevæger sig væk fra spredningsryggen, og tykkelsen af skorpen.

#### **'VARME KILDER' – SPRUDLENDE HEKSEKEDLER I DET ARKTISKE DYBHAV**

Hydrotermale skorstene er steder på midtoceanrygge (se også VARV 1992, 1), hvor der sker betydelige hydrotermiske udvekslingsprocesser mellem bjergarterne i oceanskorpen og den overliggende vandmasse. Hydrotermale kilder findes i flere områder langs rygaksen. Tre fænomener gør de hydrotermale områder let identificerbare: temperaturanomaler (-udsving) i de oceaniske vandmasser tæt ved havbunden i nærheden af skorstenene, tilstedeværelsen af en række af karakteristiske mineraler og dannelsen af kolonier af højtstående – kemotrofe – faunaer, der får deres energi ved oxidation af svovlbrinte. Ved hjælp af hydrografiske profiler blev der i 2001 mange steder fundet anomalier i temperaturfordelingen i nærheden af havbunden i Gakkelryggen. Det blev endvidere kon-

stateret, at hydrotermiske vandudvekslinger mellem den oceaniske skorpe og de ovenover liggende vandmasser var langt mere udbredte i det Arktiske Ocean end hidtil antaget.

Ved de hydrotermale skorstene finder man ofte højt specialiserede samfund af hvirvelløse, marine dyr. De består bl.a. af rørorm og store muslinger, som har tilpasset sig det meget specielle kemotrofiske stofskifte.

#### AFSLUTNING

Under AMORE-2001 togtet lykkedes det for første gang at gennemføre detaljerede undersøgelser af den centrale del af Gakkelryggen, som er en særdeles spændende del af det verdensomspændende midtoceaniske rygssystem. Fremover er der nu tilbage at undersøge dens østlige forlængelse mod den sibirske kontinentalmargin og at bruge undervandsrobotter eller forskningsundervandsbåde for et detaljeret og meget præcist prøvetagningsprogram. Gakkelryggen er muligvis den nordlige hemisfæres vigtigste geologiske struktur, og dens historie såvel som egenskaber kontrollerer mange træk af de tilgrænsende dybhavsbassiner og kontinentalmarginer, ikke mindst øst og ord for Grønland.