

# JORDENS GEOLOGISKE HISTORIE

## BELYST VED DYBHAVSBORINGER.

Naja Mikkelsen

En af de største sammenhængende enheder på jordkloden er dybhavens bund. Fra at have været et nærmest ukendt og uudforsket område er vort kendskab til dybhavene nu i hastig vækst takket være en intensiv og målrettet international forskningsindsats. Dybhavens bund har tidligere været betragtet som en fjern og lidet aktiv del af vor jordklode. I dag anses den for at være en særdeles dynamisk enhed, der har afgørende indflydelse på en række globale processer.

### OCEAN DRILLING PROGRAM (ODP)

To trediedele af Jordens overflade er dækket af oceaner, der har en gennemsnitsdybde på mere end tre kilometer. Kendskabet til havbunden under disse store, havdækkede områder står ikke mål med den omfattende viden, man har om kontinenternes geologiske udviklingshistorie. Det kræver en stor og målrettet indsats at udforske dybhavene. Derfor blev der i 1983 etableret et internationalt forskningsprogram **Ocean Drilling Program (ODP)** som en direkte fortsættelse af det tidligere dybhavsboreprogram **Deep Sea Drilling Project (DSDP)** fra 1968.

ODP har et årsbudget på over 40 millioner dollars. I ODP deltager en række lande med et selvstændigt medlemskab, herunder England, Tyskland, Frankrig, Japan, og ikke mindst USA, der finansierer mere end 40% af budgettet. Danmark er medlem af et europæisk konsortium på 12 mindre europæiske lande, der tilsammen bærer ét medlemskab. Dette medlemskab giver danske geologer mulighed for at deltage i alle aspekter af forskningsprogrammet. ODP's videnskabelige aktivitet er baseret på boreforslag, som udarbejdes af forskningsmiljøer verden over. De videnskabeligt set bedste forslag udvælges og gennemføres som boreprogrammer. Dette betyder, at en lang række forskellige videnskabelige problemkredse i årenes løb er blevet belyst ved oplysninger indsamlet fra boringer i bunden af verdens dybhav. Det store og teknisk set avancerede boreskib "Joides Resolution" har således opereret i alle områder af dybhavene og tilvejebragt mere end 160 kilometer havbundskerner tillige med et væld af geofysiske data.

Danmark indtager en aktiv rolle i den internationale udforskning af dybhavenes geologi gennem sin andel i det europæiske konsortium. Andelen er

finansieret af Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd. Geologer fra DGU og GGU, samt kolleger fra danske universiteter tager aktivt del i programmet sammen med internationale samarbejdspartnere .

DGU-geologer har deltaget i togter i både Atlanterhavet, det Indiske Ocean, havet omkring Antarktis og det østlige Stillehav, hvor forskningsemnerne har spændt fra undersøgelser af grænselagene mellem jordens skorpe og kappe til udredningen af jordens klimatiske historie under og efter sidste istid.



*Boreskibet "Joides Resolution" kan bedst betegnes som et flydende forskningscenter med laboratorier bygget op i syv etager. Skibet er udstyret med et avanceret positioneringssystem, der selv i hård storm kan holde skibet stationært over et borehul på flere kilometers vanddybde.*

### **ODP's formål og tidligere resultater**

Verdenshavene får, via floderne, tilført både opløst og opløst materiale, der bliver aflejret på havbunden som sedimenter. Det er disse sedimenter og de underliggende hårde bjergarter, der er målet for ODP's borearbejde. På grundlag af de mængder, der hvert år føres med fra land til

havet, kan man beregne, at det tager ca. 33 millioner år, at erodere kontinenterne ned til havniveau. Hvis man bruger den nuværende erosionshastighed på jordoverfladen betyder det, at jordens kontinenter har været vasket gennem gennem hydrosfæren henved 100 gange i løbet af jordens ca. 4,5 milliarder års eksistens.

Siden 1983 har OPD foretaget godt 1000 borer i alle dele af verdenshavene. Det betyder bl.a., at der er tilvejebragt et overordnet geologisk kort over oceanbunden. ODP's nuværende forskningsstrategi går derfor ud på at belyse de basale processer bag oceanbundens dannelse. Dette åbner for et væld af perspektiver af såvel grundforskningsmæssig som praktisk/økonomisk karakter. Et af forskningsprogrammets ambitiøse mål er at finde årsager, mekanismer og sammenhænge bag langvarige ændringer i atmosfære, oceaner, klima, jordens magnetfelt og den marinbiologiske udvikling.

### **OCEANBUNDENS ALDER**

Et af de vigtigste videnskabelige resultater af dybhavsboringerne er opdagelsen af, at oceanbunden intet sted er mere end ca. 200 millioner år gammel. Derimod er de ældste dele af kontinenterne dannet for omtrent 4,5 milliarder år siden. Havbunden er altså meget ung set i geologisk målestok, og undersøgelser af, hvordan ny oceanskorpe dannes og hvordan den videre udvikling finder sted, er et vigtigt indsatsområde for ODP. Teorien om kontinenternes bevægelse blev fremsat og heftigt diskuteret fra begyndelse af 1920'erne - men det var først med de tidligste dybhavsboringer i 1969, at de egentlige beviser for teoriens rigtighed blev frembragt. Den fundamentale forståelse af jordskorpens udviklingshistorie er således af meget ny dato.

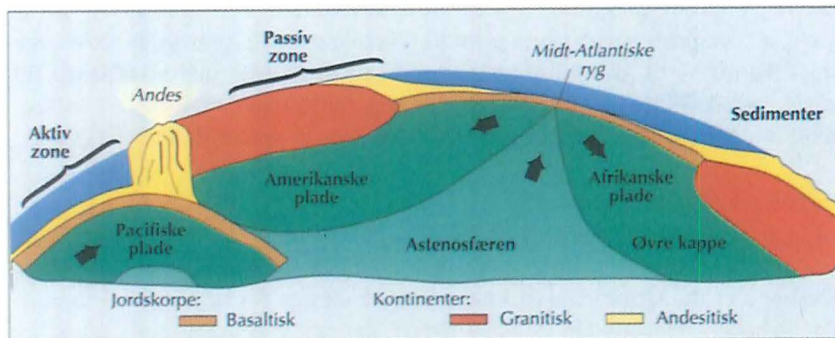
### **NORDATLANTEN'S DANNELSE**

Danske geologer har haft en væsentlig indflydelse på ODP's beslutning om at udforske det nordlige Atlanterhav's dannelseshistorie. Under dansk planlægning og ledelse blev et togt gennemført ved Grønlands østkyst i efteråret 1993.

Resultaterne fra togtet giver bl.a. en bedre indsigt i, hvordan og omtrent hvornår Nordatlanten blev dannet. Hidtil har man antaget at Nordatlanten er dannet lidt efter lidt ved en "passiv" opsprækningsproces.

De nye data viser tværtimod, at dannelsesforløbet kan sættes i forbindelse med en såkaldt hotspot og en aktiv spredningszone i jordskorpen, der dannes for omtrent 55 millioner år siden. I dette område begyndte en særdeles voldsom vulkanisme, der i løbet af nogle årmillioner dannede Færøer-

nes og Grønlands dengang sammenhængende plateaubasalter. Spredningen bevirkede at Færøerne og Grønland blev adskilt og Nordatlanten åbnede sig. Noget senere blev Island skabt og spredningszonen ligger nu midt igennem Island. Derfor er der stadig vulkansk aktivitet på Island. Spredningszonen fortsætter sydpå i Atlanterhavet, og markeres på havbunden af Den Midatlantiske Højderyg. Spor efter den oprindelige vulkanisme kan også findes i Danmark, bl.a som askelag i moleret på Fur og Mors.



Jordens yderste del er opdelt i en række stive plader, der hviler på den mere mobile del af kappen (astenosfæren). Varmen i kappen bevirker, at kappematerialet til stadighed er i bevægelse, hvilket får de ovenpåliggende pladers kontinentskorper til at ændre deres indbyrdes position. Som følge af den stadige havbundsspredning bevæger pladerne sig i forhold til hinanden med hastigheder af op til 10 cm om året. (Ny havbundsskorpe dannes ved oceanbundsryggene, hvor flydende magma med temperaturer på omkring 1000°C vælder op fra astenosfæren. Gammel oceanbundsskorpe og forsvinder ned i kappen ved dybhavsgravene, hvor den smelter og optages i kappen.)

Den vulkanske varme er samtidig drivkraften bag systemer af varme kilder med temperaturer på over 350°C, som findes på særligt aktive steder i sprækkezonerne. Kilderne udluder stoffer som jern, kobber, zink og mangan fra den nydannede skorpe, og stofferne afsættes omkring kilderne, hvor de i fremtiden kan blive væsentlige "mining-objects". I fremtiden vil der i udvalgte borehuller blive installeret en række forskellige instrumenter til langvarige eksperimenter og "in-situ" data-registreringer for bl.a. at belyse spændingsforhold i de oceaniske plader.

## JORDENS KLIMA - FORTID OG FREMTID

Klimaet har varieret gennem jordens historie. Ændringerne har fundet sted med mellemrum varierende fra millioner af år til blot få årtier. Nogle af ændringerne har været særdeles voldsomme med hurtige skift fra markante varmetider til regulære istider. Andre har været langsomme og af mindre omfang.

Studier af sedimentkerner fra dybhavsboringerne har vist, at jorden i de sidste to millioner år har befundet sig i en relativ kølig periode med hurtige skift mellem kuldeperioder (istider) og varmeperioder (mellemistider). Studierne har endvidere vist, at knapt 10% af denne periode (ca. 200.000 år) har været mindst lige så varm som de sidste 10.000 år, dvs. perioden efter den sidste istid. Den grønlandske iskappe er den eneste kontinentale iskappe, som idag er bevaret på den nordlige halvkugle. Iskerner fra boringer på indlandsisen viser, at Grønland blev nediset for mere end 200.000 år siden.

*Boring i havbunden. Boreskibet medfører en borestreng på en længde af godt 10 kilometer. Normalt foretages der boringer på op til ca. 2 km længde, når skibet befinder sig på flere kilometer vand. Det er muligt at bore i såvel løse sedimenter som i hårde bjergarter. ODP har i de forløbne år arbejdet på teknologiske nyskabelser for bl.a. at kunne bore i nydannet havbundsskorpe tæt ved aktive spredningszoner og for at kunne gennembore "Moho" (grænsen mellem skorpe og kappe) og nå ned i Jordens øvre kappe.*

*Geofysiske data viser, at den stive skorpe er godt 30 km tyk under kontinenterne, men kun 3 - 12 km under oceanerne. For at indhente oplysninger om de dybere dele af skorpen og overgangen mellem skorpe og kappe, har ODP udført en række togter i den østlige del af Stillehavet, hvor skorpen er tynd.*

*En DGU geolog har deltaget i disse undersøgelser, idet resultaterne har kunnet bruges til tolkning af data fra Færøerne.*





*De globale havstrømme dannes i Nordatlanten, hvor koldt overfladevand synker ned og som et "transportbånd" fortsætter mod Sydpolen. I det Indiske Ocean og Stillehavet opvarmes bundvandet gradvis og stiger op til overfladen, hvor det som en varm og salt overfladestrøm transporteres tilbage gennem Stillehavet og det Sydlige Atlanterhav til Nordatlanten, hvor processen gentages. Forskydninger i dette strømmonster koblet med astronomisk betingede ændringer i tilførslen af solenergi til jorden, kan være medvirkende årsag til de drastiske klimaændringer, som jorden har været udsat for i løbet af de seneste 2 millioner år, og som er afspejlet i dybhavskernernes sedimenter.*

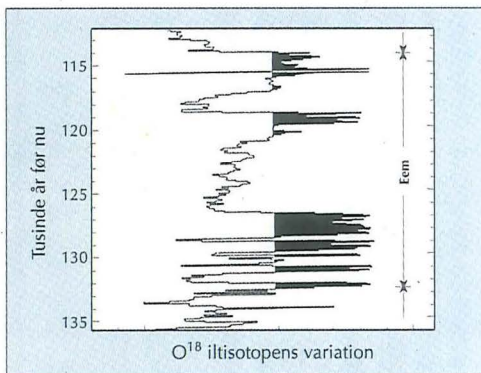
Tidligere data, indsamlet på og omkring Grønland, har været tolket som tegn på at kuldeperioden, der førte til denne nedisning, begyndte for godt 2 millioner år siden. De nye ODP borerer fra 1993 ud for Sydøstgrønland synes imidlertid at vise, at kuldeperioden i Nordatlanten startede allerede for 7 millioner år siden og altså meget tidligere end før antaget. Endvidere blev der under togtet frembragt indicier for, at den nordatlantiske nedisning ikke, som tidligere antaget, startede i Nordgrønland, men mere sandsynligt i Sydøstgrønland.

Det globale klima har varieret drastisk i løbet af de seneste 250.000 år af Jordens historie. Paradokaldt nok har klimaet de sidste 10.000 år imidlertid været stabilt sammenlignet med de klimatiske forhold indenfor de seneste

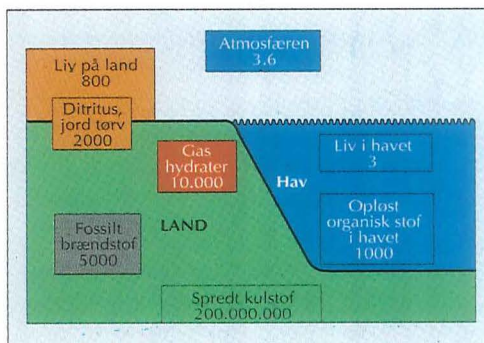
250.000 år. Overordnet set befinder vi os dog nok alligevel i en klimatisk set ustabil situation, idet analyser af iskernerne fra Grønland har vist, at særdeles markante klimaskift tidligere pludseligt er sket og har varet i få årtier, hvorefter situationen atter er "normaliseret". Man kan derfor ikke udelukke, at den nuværende stabile varmeperiode inden for en geologisk set overskuelig fremtid hurtigt kan afløses af en ny kuldeperiode.

*Klimakurve fra Grønland i Eem tiden. Drastiske klimaudsving kan de ses i havbundens aflejringer.*

*ODP leg 152 har vist at kuldeperioder startede allerede for 7 mill. år siden - og ikke som antaget for 2 mill. år siden*

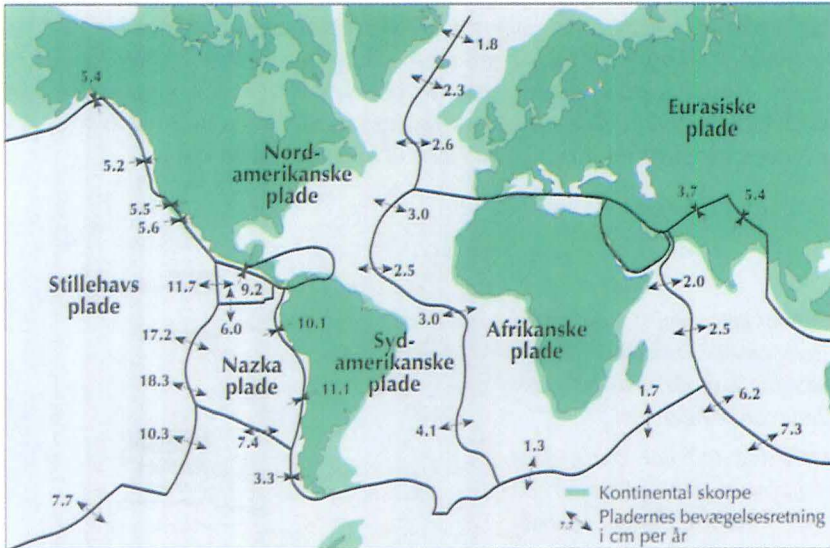


*Gashydrater og andre kulstofressourcer*



## **GAS-HYDRATER - KLIMAREGULATER OG FREMTIDENS ENERGIRESSOURCE ?**

Inden for de seneste år er et nyt og spændende forskningsfelt taget op af ODP. På seismiske profiler fra shelfområder rundt omkring i verden ses relativt kraftige reflektorer, der skyldes de såkaldte gas-hydrater.



Pladekoniske forstyrrelser er i store træk indirekte årsag til de overordnede klimaskift, idet bevægelserne forårsager ændringer i oceanbundens udformning, hvilket påvirker de globale havstrømmes forløb og dermed klimaet. Dannelsen, ved plade kollision, af de store plateauer på jordoverfladen (f.eks. Tibet i Himalaya og de store plateauer i Andeskæden) har efterfølgende påvirket og ændret de atmosfæriske forhold dvs. luftstrømmene.

Gas-hydrater er en krystallin fase af overvejende metan og vand, der kun er stabil i et snævert ligevægtsinterval med højt tryk og lav temperatur. De er derfor kun sjældent observeret i borer, idet ændrede tryk- og temperaturforhold under borearbejdet vil destabilisere gas-hydraterne og frigøre gasen.

Under den sidste istid blev store mængder vand ved den fremadskridende nedkøling efterhånden bundet i iskalotterne, og den globale vandstand i verdenshavene kom derfor gradvist til at stå omtrent 100 meter lavere end i dag. Dette betød, at tryk- og temperaturforholdene i shelfområderne ændredes, hvorved gas-hydraterne kunne blive ustabile og derved give anledning til store udglidninger af havbundssedimenterne. Det er derfor foreslået, at gas-hydrater har haft en afgørende indflydelse på udformningen af stratigrafi og tektonik i shelfsens randområder, og dermed de aflejringsmønstre, der findes i dag.



Frigørelse af større mængder gas fra hydraterne kan, foruden den mekaniske ændring af shelfområderne, også have medvirket til markante ændringer af jordens klima, idet metangas er en ti gange mere virkningsfuld drivhusgas end kuldioxid. Hvis store mængder gas blev frigjort ved udglidninger, som følge af nedkøling og dermed vandstandsændring, kunne dette påvirke klimaet i retning af en opvarmning og dermed afslutte en kuldeperiode. Skønt det ikke er endeligt videnskabeligt bevist, kan dette forklare, hvorfor vi ser så relativt abrupte skift fra kuldeperioder til varmeperioder i de geologiske lag.

Gas-hydrater består overvejende af biogent dannet metan. Meget tyder på, at der under den faste hydrat findes store mængder af fri gas, som tilbageholdes af den impermeable hydrat zone. Det er anslået, at der er bundet mere kulstof i gas-hydraterne end i jordens kendte energireserver af olie, gas og kul.

Nærmere undersøgelser af gas-hydraternes stabilitet og forekomst under kommende ODP togter skal være med til at vise, om det er muligt at udnytte disse tilsyneladende enorme og eventuelt udnyttelige energiressourcer komercielt, og om gas-hydraterne dermed på langt sigt kan være med til at løse jordens energiproblemer.

efter N. Mikkelsen. Årsberetning for 1994.  
Danmarks Geologiske Undersøgelse  
Miljø- og Energiministeriet 1995

---

## Fusion i geologiverdenen

Knud Binzer

Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU) og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) blev pr. 1. juni 1995 sammenlagt til én institution med det formelle navn:

### 'DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE'

Tanken om en sammenlægning af de to geologiske undersøgelser er ikke ny, men blev aktualiseret ved sammenlægningen i slutningen af 1994 af det tidligere Miljøministerium og Energiministerium til Miljø- og Energiministeriet. Efter sammenlægningen er instituttet blevet væsentligt større; Der er derfor sket en tilpasning af instituttets organisation. Der blevet flere forskningsafdelinger, og arbejdet vedrørende Grønland er samlet i et selvstændigt arbejdsprogramråde.