



NORDATLANTEN - VANDUDVEKSLINGEN OMKRING FÆRØERNE OG GLOBALE KLIMASVINGNINGER (ENAM-PROJEKTET)

Antoon Kuijpers

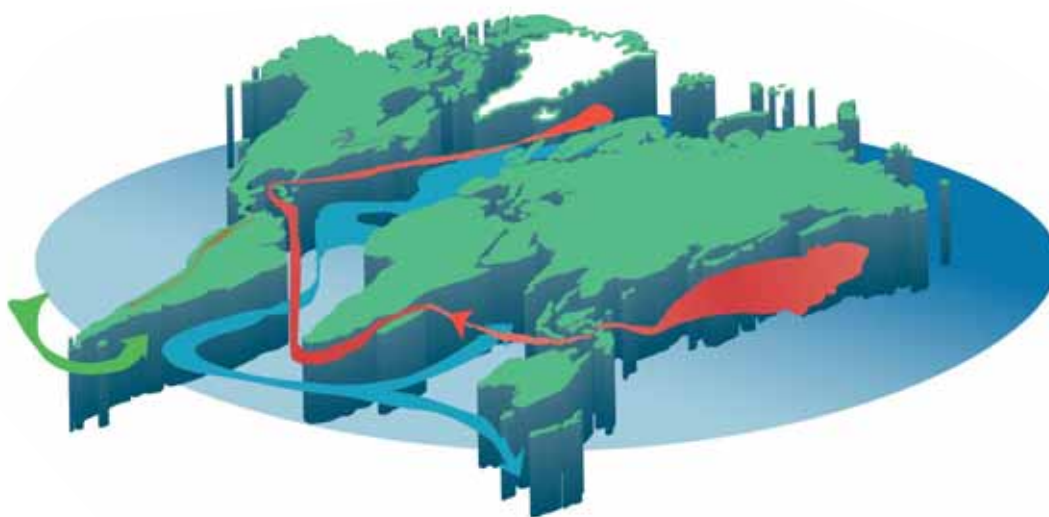
Den nordlige del af Nordatlanten og dele af havet omkring det Antarktiske kontinent er de vigtigste områder, hvor der under de nutidige klimaforhold finder udvekslingsprocesser sted mellem atmosfæren og dybhavet.

DET GLOBALE CIRKULATIONSSYSTEM

I Nordatlanten strømmer overfladevand fra sydlige breddegrader mod nordøst, hvorved der afgives varme til atmosfæren. Denne strøm er kendt som Golfstrømmen og den Nordatlantiske Strøm. Fordampning og afkøling resulterer i, at vandets vægtfylde øges i farvandet mellem Grønland og Nordnorge, således at det syn-

ker ned i havet til dybder under 1000 m. Disse dybvandsmasser spredes via Danmark Strædet mellem Island og Grønland og via Færø-Shetlandkanalen til det nordlige Atlanterhav og videre til resten af verdensdybhavet (Figur 1).

På denne måde dannes der et globalt cirkulationssystem, hvor ændringer i cirkulationen kan sættes direkte i forbindelse med de globale klimasvingninger.



Figur 1. Globalt cirkulationssystem der viser områder med dybvandsdannelse ved Østgrønland og i Labradorhavet og dybvandstransport fra Nordatlanten til Stillehavet. Blå pile antyder dybvandstransport, mens de røde pile viser transport af varmt overfladevand. Den grønne pil viser transport af kold overfladevand ind i Atlanterhavet syd om Sydamerika.



Scenarier fra globale klimamodeler viser, at Nordatlantregionen kan være afgørende for udløsningen af forandringer i global skala. Modelstudier viser bl.a., at en pludselig formindskelse af saltholdighed i overfladevand i Nordatlanten, f.eks. på grund af hastig nedbrydning af Grønlands indlandsis eller bortsmeltning af havisen i Arktis (drivhusklima!) resulterer i en stagnation af dybvandsdannelse og en hurtig (< 10 år) sænkning af Nordatlantens overfladetemperatur med 5°C . Således kan en global opvarmning af atmosfæren gennem denne tilbagekobling, paradoksalt nok, føre til en afkøling i Nordatlanten, med betydningsfulde konsekvenser for klimaet i Nordvest Europa.

I denne sammenhæng skal det nævnes, at målinger fra en række år siden 1980 i havvandet øst for Grønland viser en tendens til aftagende dannelse af dybvand i den nordligste del af Nordatlanten. Desuden tyder målinger, foretaget de sidste 5 år, på en mindskning af saltholdighed i overfladevandet og i det udstømmende dybvand i Danmark Strædet og i Færøområdet. Til gengæld har målinger i Labradorhavet, ud for Vestgrønland, hvor der også dannes dybvand, siden midt i firserne vist en overraskende forøget dannelse af koldt og salt dybvand.

KLIMASVINGNINGER

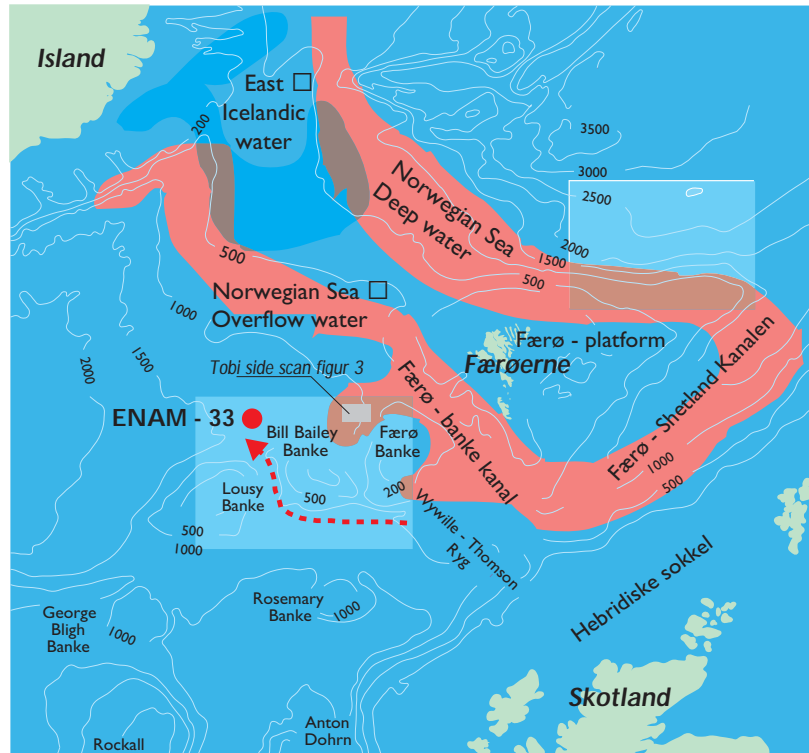
Usikkerheden ved vurderingen af de nutidige globale ændringer af oceancirkulationen og klimasystemet må først og fremmest tilskrives vores mangelfulde forståelse af det hydrologiske kredsløb - cirkulationen af vandet i oceanerne, atmosfæren og biosfæren. Rekonstruktioner af det fortidige klima og oceancirkulationen er derfor et vigtigt instrument, der giver mulighed for vurdering af betydningen af de nutidige klimasvingninger. Desuden er korrelationer mellem palæoklimatiske data fra oceanet, kontinenterne og iskapernerne af stor interesse som middel til at identificere årsagerne til og virkningerne på den atmosfæriske og oceaniske cirkulation.



Figur 2. GEUS' hovedindsatsområder samt bundstrømsmønster omkring Færøerne med position af TOBI side-scan sonar optagelsen (firkant; se Fig.3) og borekernen ENAM-33 (se Fig.4). Punktlinien viser NSOW-bundstrømsruten fra Wyville-Thomson Ryggen. Denne bundstrømsrute forklares i teksten.

ENAM PROJEKTET

I rammen af ENAM ("European North Atlantic Margin") projektet, finansieret igennem EUs MAST-program, har GEUS siden 1993 arbejdet på at øge kendskabet til de variationer i vandudvekslingen igennem Færø-Shetlandkanalen, som har fundet sted i løbet af kvartærtiden. Undersøgelserne gælder især bestemmelse af udstømning af det kolde bundstrømsvand, "Norwegian Sea Overflow water" (NSOW, se Fig.2) fra Norskehavet. Der bliver især fokuseret på mulige sammenhænge mellem disse variationer og klimasvingninger fra istider til mellemistider. Forunderligt nok har palæo-oceanografiske studier af borekerner fra havbunden ikke hidtil i særlig høj grad udnyttet de muligheder, der ligger i at undersøge sedimenter taget direkte ved udløbet af NSOW-strømmen fra Færø-Shetlandkanalen, d.v.s. umiddelbart sydvest for Færøerne (se Fig.2). En af årsagerne til dette har nok været det meget uregelmæssige sedimentations-



mønster, der er en følge af den stærke bundstrøm, som hersker i området. Maksimum bundstrøms hastigheder i dette område er stedvis i nærheden af 100 cm/s (Figur 3), hvilket kan sammenlignes med strømhastigheder, der kan forekomme i Storebælt eller Øresund.

En uundværlig del af undersøgelserne har været en mere nøjagtig kortlægning af de vigtigste NSOW-bundstrømsruter ved hjælp af seismisk (flerkanalets 'sleevegun') måleudstyr og "side-scan sonar". Disse undersøgelser blev udført i nært samarbejde med Geofysisk Afdeling ved Århus Universitet, og det hollandske institut for havforskning "NIOZ". Side-scan sonar undersøgelser af havbundens overflade med "TOBI" 6-km range side-scan sonar systemet blev udført i 1995 med finansiel støtte fra EUs "Human Capital and Mobility Program" i samarbejde med det engelske havforskningsinstitut "Southampton Oceanography Center" og NIOZ. Disse undersøgelser blev ikke kun

foretaget ved udløbet af NSOW-strømmen, men også nordøst for Færøerne (Figur 2) ved indløbet af denne bundstrøm.

Mens sedimentkerner fra det sidstnævnte område blev undersøgt på NIOZ og ved Københavns Universitet, har GEUS' hovedindsats været fokuseret på sedimentkerner fra området sydvest for Færøerne. Undersøgelserne blev udført i tæt samarbejde med Geologisk Institut og Fysisk Institut ved Århus Universitet samt Forskningscenter RISØ. I udlandet samarbejdes med Göteborgs og Amsterdams Universitet ('Free University') samt med Woods Hole Oceanografisk Institut i USA. I den nuværende 2. fase af ENAM-projektet (1996-99) gennemføres en del af de palæo-oceanografiske undersøgelser som et PhD-projekt finansieret af GEUS, og udført ved Geologisk Institut ved Århus Universitet.

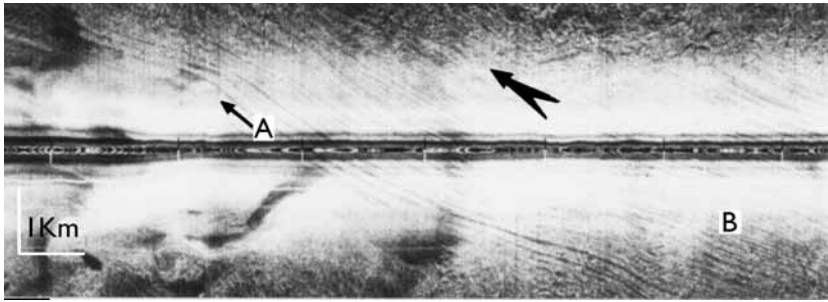
FORELØBIGE RESULTATER

De første resultater af de seismiske undersøgelser og side-scan sonar undersøgelserne, der gennemførtes i fase-I af ENAM-projektet, har bl.a. vist en NSOW bundstrømsrute fra Wyville-Thomson Ryggen til kanalen mellem Lousy og Bill Bailey Bank og videre mod nord (se punktklinie, Figur 2). Bundstrømsruten på denne strækning har hidtil været ukendt for oceanograferne. Der planlægges derfor, i samarbejde med oceanografer fra Sverige og Færøerne, at udlægge forankret måleudstyr på denne rute i kanalen mellem Lousy og Bill Bailey Bank.

Resultater fra borekerneundersøgelserne giver et direkte og håndfast bevis på betydelige ændringer af NSOW-bundstrømmen i flere perioder indenfor de sidste ca. 150.000 år, dvs. siden den senere del af næstsidste istid, Saale istiden.

Kernerne aldersbestemmes ved hjælp af AMS (Accelerator Mass

Figur 3. TOBI side-scan sonar optagelse fra et område i nærheden af NSOW-udløbet fra Færø-Banke Kanal (se Fig.2). Optagelsen viser mere end 10 km lange erosionsfurer dannet i sand. Disse strømparallelle bundformer dannes typisk i et miljø med bundstrøms hastigheder i nærheden af 100 cm/s. Pilen antyder hovedstrømsretning. 'A' viser store (250-300 m brede) sand striber, mens 'B' viser et felt med talrige smalle sandstriber. Vanddybden er omkring 1400m.



Spectrometry), C-14 (kulstof-14) metoden på sedimenter yngre end 45.000 år samt ved brug af resultaterne fra målinger af O-16/O-18 forholdet (mellem stabile ilt-isotoper) i planktoniske foraminiferer, fundet i sedimentet. Dette isotopforhold viser karakteristiske forandringer i forbindelse med klimændringer fra "istidsklima" til "mellemistidsklima" (Figur 4).

Ændringer af selve foraminiferfaunaen, som er en del af det marine plankton i overfladevandet samt af bundfaunaen, er i høj grad afhængig af de hydrografiske forandringer, d.v.s. forandringer i saltholdighed, temperatur, iltforhold, og næringsstoffer.

En varierende bundstrømhastighed er en faktor, der har stor betydning for kornstørrelsesfordelingen i sedimentet. I borekernerne, fra undersøgelsesområdet sydvest for Færøerne, findes bestemte afsnit, hvor en grovere fraktion af silt og finsand (se Figur 4) er dominerende. Andre afsnit består hovedsagelig af siltrig ler med dropsten fra isbjerge.

Sedimentets magnetiske egenskaber, målt som 'magnetisk susceptibilitet' i borekerner fra undersøgelsesområdet, viser et meget karakteristisk profil (Figur 4). De højeste værdier forekommer i perioden omkring den sidste istids maksimum, dvs. for ca. 22.000 til ca. 16.000 år siden, samt ved slutningen af Saale-istiden. Disse magnetiske egenskaber er afhængige af flere faktorer, bl.a. sedimentets kalkindhold, kornstørrelse og mineralsammensætning.

Jernrige mineraler fra basalten, som findes i store mængder og i store områder omkring Færøerne, giver typisk høje susceptibilitetværdier, mens erosionsprodukter fra den Hebridiske og Skotske sokkel, hvor undergrunden er anderledes og hvor basalten ikke kommer frem ved havbunden, viser lavere værdier.

Aflejringer, der mest består af lokale erosionsprodukter, og som har et højt indhold af magnetiske mineraler - udtrykt ved høje magnetiske susceptibilitets værdier -, skulle således være et tegn på stagnerende bundstrømsforhold

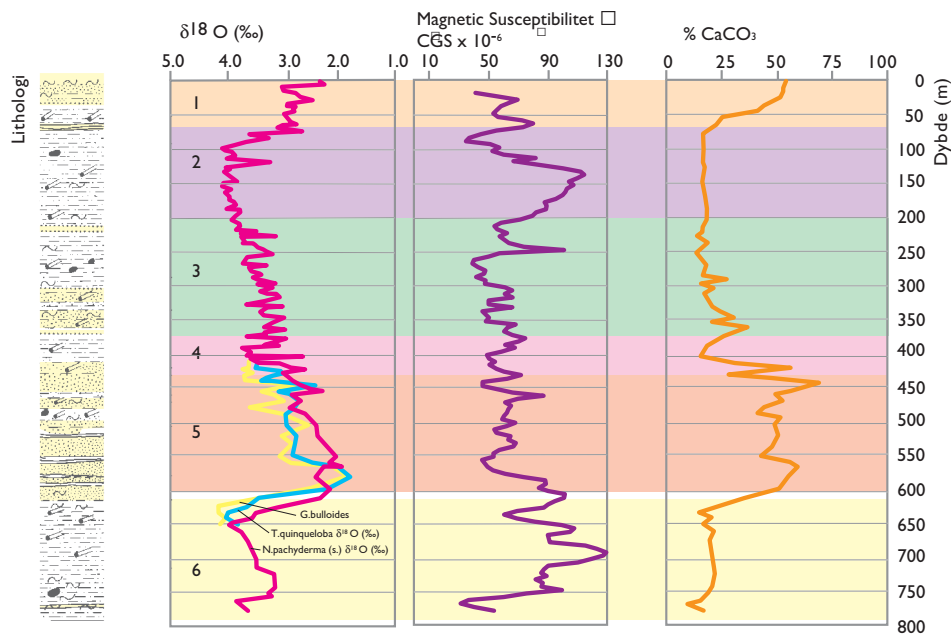
med formindsket tilførsel af materialer fra Færø-Shetland Kanalen, forudsat at kalk og kornstørrelsesforholdet er konstant.

Ved hjælp af alle disse parametre er det muligt at vise, at NSOW-bundstrømmen - og dermed dybvandsdannelsen i Grønlands- og Norskehavet - er et typisk fænomen for mellemistider eller relativt varme klimaforhold. De planktoniske foraminiferfaunaer antyder at disse processer er koblet til en indstrømning af relativt varmt overfladevand fra Atlanterhavet ind i Norskehavet.

Forhold med kraftig NSOW-strøm findes ikke kun i eftertiden (Holocæn tid) og den sidste mellemistid, Eem varmetiden, men også i flere relativt korte varmeperioder i den sidste istid (Weichsel istiden). En af disse kortere perioder kan dateres til lige før det sidste glacielle maksimum ved slutning af isotopstadium 3 (se Figur 4), d.v.s. til for mellem ca. 25.000 og 30.000 år siden.

Figur 4. Lithologi af borekerne ENAM-33 med O-16/O-18 profil målt på planktoniske foraminiferer, magnetisk susceptibilitet og kalkindhold.

Afsnit med silt/finsand i kernen (grøn) afspejler perioder med NSOW-bundstrøm, mens de andre intervaller med siltrig ler og dropsten fra isbjerge tyder på stagnation af bundvandet under glaciale eller kolde klimaforhold. Isotopdata er fra Delia Oppo, Woods Hole Oceanographic Institute, USA.



Undersøgelserne viser interessant nok også, at der i Eem varmetiden forekom nogle kortvarige perioder, hvori NSOW-strømmen - og dermed dybvandsdannelse - var stærkt reduceret.

Ved slutningen af den sidste istid har NSOW-strømmen gentagne gange ændret sig stærkt. En første fase af kraftig NSOW bundstrøm - og derfor også af intensiv dybvandsdannelse i Grønlandshavet og Norskehavet - optrådte for mellem 13.400 og 12.000 år siden. Dette sker stort set samtidig med Bølling-Allerød klimaopvarmning

gen i Nordvesteuropa. Derefter var NSOW-strømmen på ny stærkt reduceret (Yngre Dryas). Bundstrøms-hastigheder, der kan sammenlignes med det nutidige forhold, begyndte først at optræde lidt senere i efteristiden (Holo-cæn), d.v.s. på et tidspunkt som ligger højst 9000 år tilbage.

Der findes flere parametre, bl.a. magnetiske susceptibilitet, der antyder lignende NSOW-strøms-svingninger ved Saale-Eem overgangen (ilt-isotop stadium 5/6 grænsen, se Figur 4).

De mest udprægede dybvandsstagnationer (ingen NSOW-

strøm) i Norskehavet optrådte i en periode på 5-6000 år omkring det sidste glaciale maksimum, og i en lignende periode omkring det glaciale maksimum af Saale istiden.

DANMARK STRÆDET

Det kan endnu ikke fastslås, hvordan ovennævnte forandringer i vandudvekslingen mellem Atlanten og Grønlandshavet-Norskehavet hænger sammen med de atmosfæriske klimaforandringer, som de kan ses af målinger i de Grønlandske iskerner. Der findes dog ind-



kationer på, også fra andre recente palæoceanografiske studier i Nordatlanten, at det muligvis er cirkulationsændringerne i oceanet, der er afgørende for udløsningen af atmosfæriske klimaforandringer i stor skala.

Et af formålene med GEUS' PhD-studiet, som et bidrag til ENAM-projektet i perioden 1996-99, er således at identificere disse mulige årsag/virkning sammenhænge ved hjælp af kerner med høj (> 15 cm/1000 år) sedimentationshastighed. Disse borekerner er taget i området SV for Færøerne.

I sommeren 1997 er det planen at gennemføre et prøvetagningstogt i farvandet sydøst for Grønland i samarbejde med "Amsterdam Free University". Formålet er at indsamle supplerende kernemateriale, der kan belyse vandudvekslingen via Danmark Strædet.

Abstract

Direct exchange between the atmosphere and the deep ocean basins takes place today in only two areas.

These areas are located in the northern extremity of the North Atlantic Ocean, i.e. the central Greenland Sea and Labrador Sea, and in the Southern Ocean near the Antarctic continent. Export of deep waters formed in the Greenland Sea occurs via two major gateways, the Denmark Strait and the Faeroe-Shetland Channel ('Norwegian Sea Overflow Water, NSOW'). Since 1993 GEUS has been involved in the ENAM (European North Atlantic Margin) project as a part of the EU MAST (Marine Science and Technology) program. The main study areas of GEUS are located northeast, respectively southwest of the Faeroe Islands, at the entrance and outlet of the NSOW Faroe-Shetland gateway. The first results from studies made of Late Quaternary (< 150.000 yrs) sediment cores taken southwest of the Faeroe Islands clearly demonstrate that enhanced circulation of NSOW occurs at times of increased Sea Surface Temperature (SST) and a reduction or ceasing of NSOW at

times of low SST. During the last glacial (Weichselian) NSOW activity was at a minimum from about 22.000 to 16.000 C-14 yrs BP. After this, an initial strong flow pulse occurred between 13.400 and 12.000 C-14 yrs BP, coinciding with the Bølling-Allerød climatic warming. Renewed reduction of NSOW activity occurred during the Younger Dryas cold climate episode, and first later in the Holocene the NSOW current attained its intensity as observed today. During the second phase of the ENAM project (1996-1999) GEUS will particularly focus on how the changes referred to above interact with past atmospheric circulation changes, amongst others through a GEUS PhD project carried out at Aarhus University. In order to add additional also information on the Late Quaternary overflow history of Denmark Strait, a coring cruise will be made off SE Greenland in the summer of 1997 in cooperation with Amsterdam Free University as well as Aarhus University and funded by the Netherlands Research Council.