

2013

geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 3



- **SUPERSTORMEN I 1634**
- **GRUNDVANDSKORTLÆGNING I THAILAND**
- **KATTEGAT - NORDEUROPAS BEDSTE KLIMA- OG MILJØ-DATAARKIV?**
- **OLIE-INDVINDINGSEKSPERIMENT**
- **ISBJERGE FLÅR HAVBUNDEN OP**

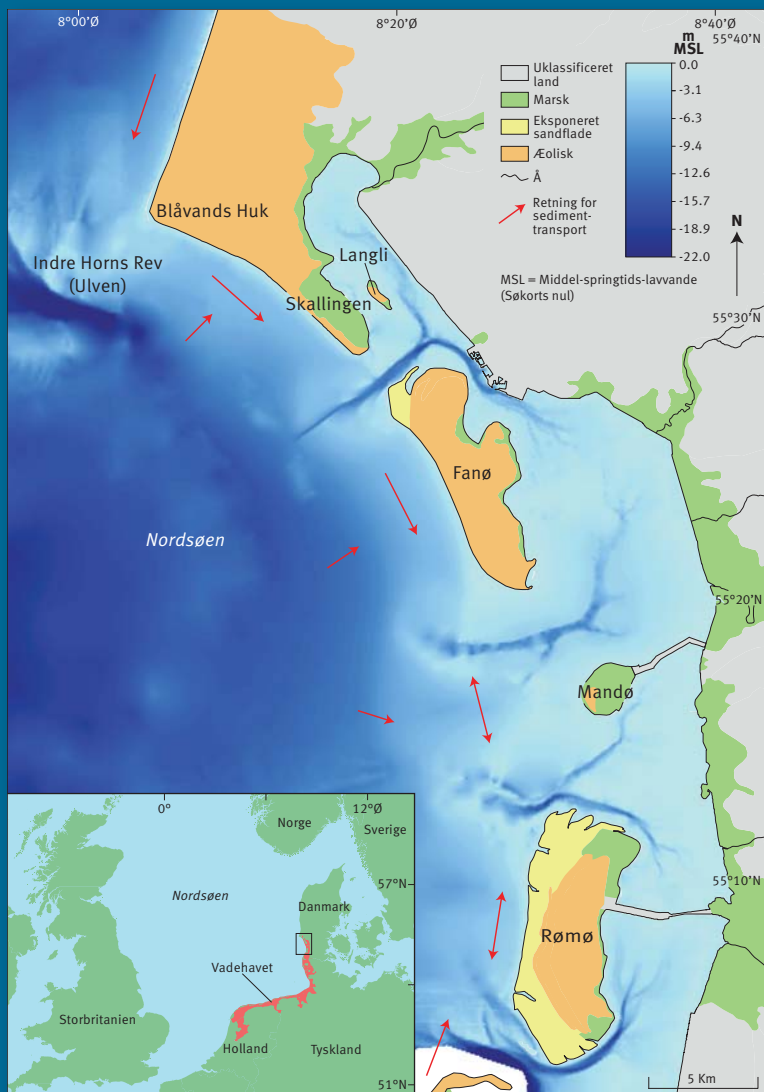
SUPERSTORMEN I 1634

I 1634 ramte en voldsom storm og tilhørende stormflod Vadehavet. De kræfter, der blev udløst under denne storm, resulterede i betydelige ændringer af kystlandskabet. Ændringer som stadig kan aflæses i barriereøernes sedimenter. Under stormen blev landforbindelsen til Langli brudt, og Langli har siden fremstået som en ø. Ligeledes blev en op til otte meter tyk sandbanke aflejret under stormen og i løbet af de efterfølgende 30 til 40 år. Sandbanken kendes i dag som halvøen Skallingen.

Natten mellem den 11. og 12. oktober 1634 ramte en af danmarkshistoriens største storme den danske vadehavskyst. Langs hele den påvirkede kyst havde stormen og den resulterende stormflod vidtrækkende konsekvenser for de mennesker, som var bosat langs kysten samt for kystens udseende (morfologi). Blandt andet blev det store fiskerleje Sønder side – Vestjyllands vigtigste handelsplads – delvist ødelagt under stormen, og mange mennesker og husdyr druknede. Samtidig blev kyststrækningen langs den nordligste del af det danske vadehav, den del som i dag udgøres af Skallingen og Langli, kraftigt påvirket af stormen, og den nuværende kystlinjes overordnede forløb er hovedsageligt et resultat af stormens og stormflodens virke, samt af de kystmorfologiske ændringer, som indtraf i årtierne efter stormen. Selvom stormen i 1634 formentligt kun var én i en række af store storme, som ramte Danmark i løbet af det 17. og 18. århundrede, skiller denne storm sig ud som værende den kraftigste, og som det vil blive beskrevet i det følgende, er der fundet tegn på, at stormen påvirkede langt det meste af den danske vadehavskyst.

VADEHAVET

Vadehavet er beliggende i den sydøstlige del af Nordsøen, og det strækker sig fra Blåvandsbuk i Danmark til den hollandske by Den Helder. Vadehavet består overvejende af vadeblade og tidevandsrender, som ligger beskyttet for Nordsøens bølger af en række barriereøer og højtliggende sandlegemer (højsander) uden vegetation. Det danske vadehav afgrænses fra nord mod syd af barrierehalvøen Skallingen samt barriereøerne Fanø, Mandø og Rømø.



Sedimenttype og bathymetrisk kort over det danske Vadehav. Pilene viser sedimenttransportens hovedretninger.
Illustration: Mikkel Fruergaard.

På grund af Vadehavets og barriereøernes placering ud til Nordsøen rammes området hyppigt af storme, som får vandstanden ved kysten til at stige. Det største bidrag til vandstandsstigning ved storm skyldes vinden. Under en storm, hvor vinden blæser fra vestlige retninger, presses der store mængder vand ind mod den lavvandede kyst, hvor det opstuvnes. Denne opstuvning – kaldet vindstuvning – kan få vandstanden ved kysten til at stige med flere meter. Ud over vinden påvirker ændringer i det atmosfæriske tryk størrelsen af vandstandsstigningen. De fleste store storme, som rammer Vadehavet, opstår i forbindelse med atmosfæriske lavtrykspassager. Et lavere atmosfærisk tryk resulterer i et mindre tryk på hav-

spejlet, hvilket resulterer i en øget vandstand (1 hPa trykfald giver 1 cm havspejlsstigning). Ydermere vil den samlede vandstandsstigning under en storm være påvirket af størrelsen af det astronomiske tidevand. Stormen, der ramte Danmark den 3. december 1999, indtraf under astronomisk lavvande, hvilket betød, at den samlede vandstandsstigning i Esbjerg 'kun' nåede op på 3,98 meter. Havde 1999-stormen i stedet kulmineret under højvande ville vandstanden i Esbjerg formentligt have været mere end en meter over. Når vandstanden overstiger tre meter i forhold til middelvandstanden (+3 m DVR90), defineres det i den danske del af Vadehavet som en stormflod.

1634-STORMEN

Størrelsen på den storm og stormflod, som ramte Danmark i 1634, er ikke præcis kendt. Der er dog ingen tvivl om, at vandstanden under stormen steg til langt mere, end det er tilfældet for hovedparten af de stormfloder, som rammer Vadehavet. I Ribe, som ligger på marsken cirka 6 kilometer fra vadehavskysten, står en egetræspæl – en såkaldt stormflods-søjle – som vidner om, hvor højt vandet har stået i byen under en række stormflodshændelser. Den øverste ring markerer, hvor højt vandet nåede op under stormen i 1634. Ringen er placeret i lidt mere end seks meter over det gennemsnitlige havniveau, og selvom den præcise vandstand under stormen givetvist er behæftet med en vis usikkerhed, er det klart, at vandstanden var usædvanligt høj. Dette bekræftes også inde i Ribe Domkirke, hvor et mærke bag prædikestolen bevidner at vandet under stormen stod omtrent 1,7 meter over gulvet i kirken. Disse to vidnesbyrd giver en god fornemmelse af, hvor højt vandet stod i 1634. Sammenholdt med de 5,12 meter (høje-

ste vandstand registreret i Danmark i nyere tid), som vandstanden nåede op under stormen i 1999 inden vandstandsmåleren i Ribe brød sammen, står det klart at stormfloden i 1634 var ekstraordinær.

DANNELSEN AF HALVØEN SKALLINGEN OG ØEN LANGLI

Studerer man historiske kort over området ved Skallingen og Langli, fra før og efter stormen, fremgår det tydeligt, at kystlandskabet, og især kystlinjens forløb, på relativt kort tid har undergået en betydelig forandring, se figuren nedenfor. En forandring, som på trods af områdets dynamiske karakter, må betegnes som værende ganske stor.

På kortet tegnet af den hollandske kartograf Willem Janszoon Blaeu fra 1612, et kort som blandt andet omfatter den danske vadehavsregion, afbildedes Langli som en barriereodde. Skallingen eller Skallingekrog, som Skallingen benævnes på 1612-kortet, fremstår både væsentligt mindre og er beliggende mere nordvestligt end tilfældet er i dag. På kortet

MIKKEL FRUERGAAARD

Postdoc, IGN, KU
mif@geo.ku.dk

THORBJØRN J. ANDERSEN

Lektor, IGN, KU
tja@geo.ku.dk

PETER N. JOHANNESSEN

Seniorforsker, GEUS
pjo@geus.dk

LARS H. NIELSEN

Statsgeolog, GEUS
lhn@geus.dk

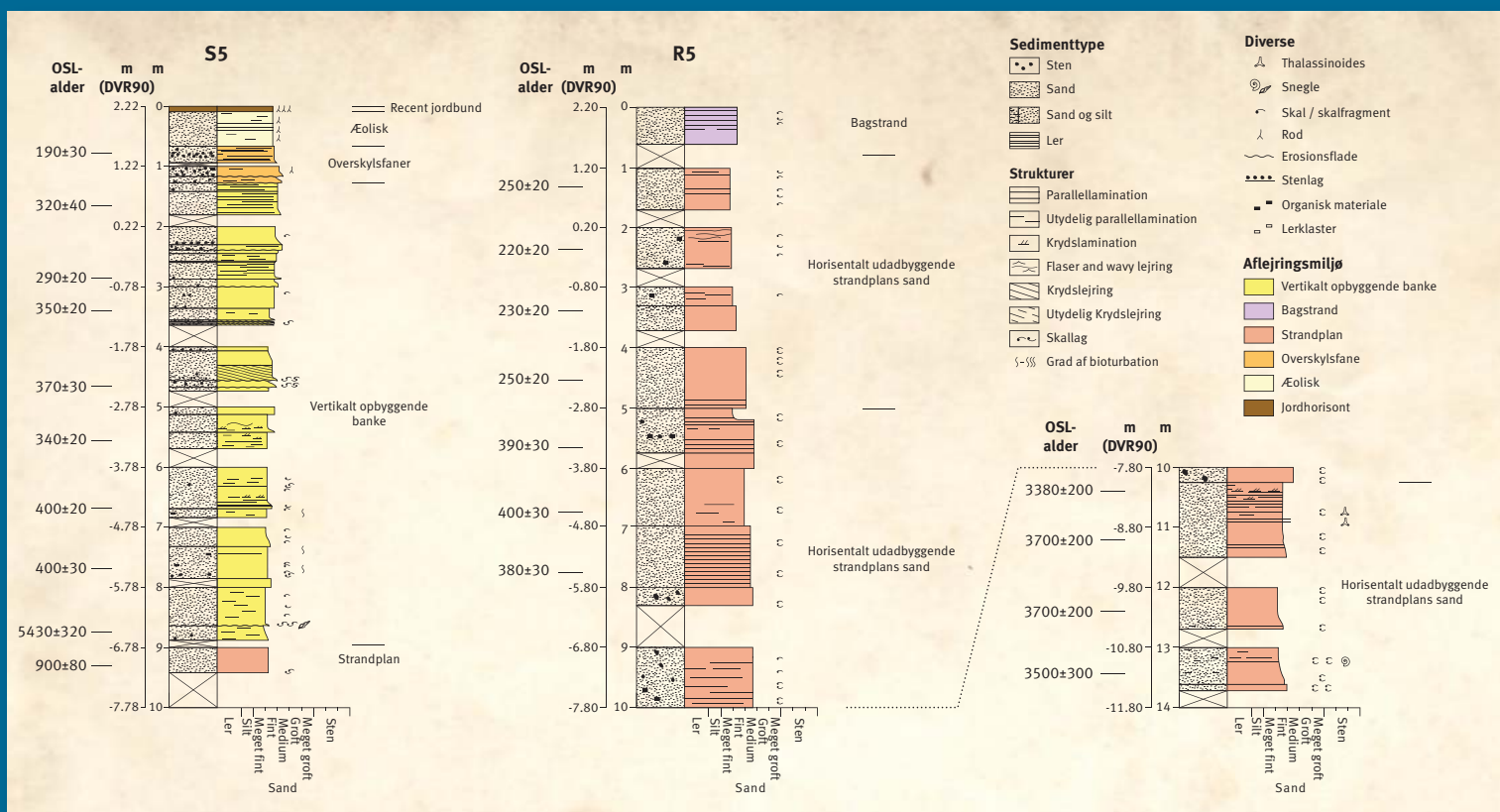
MORTEN PEJRUP

Prodekan og professor, IGN, KU
mp@geo.ku.dk



Øverst: Willem Janszoon Blaeus kort fra 1612 (til venstre) samt tolkning (til højre). På kortet ses Langli som en barriereodde med klitter. Skallingekrog ligger i forlængelse af Blåvandshuk, hvor den har fungeret som en meget velegnet naturhavn for skibstrafikken til Sønderside. Midten: Johannes Meijers kort fra 1650 (til venstre) samt tolkning (til højre). På kortet fremstår Langli nu som en ø uden landforbindelse til fastlandet. På nær af en mindre klit (Stormholm) er Skallingekrog forsvundet. I stedet ses en meget større sandbanke, som er betegnet Schallingsand – forløberen til den nuværende Skallingen. Nederst: Den nuværende situation med Skallingen, Langli, Ho Bugt osv.

Illustration: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.



Kernelogs med tolkninger og beskrivelser af sedimenterne samt angivelse af aflejringsmiljøer for borerkerne Skallingen S5 og Rømmø R5. Til venstre for hver log ses OSL-aldrene på de sedimentprøver, som er udtaget fra kernerne til datering.

Illustration: Jette Halskov, GEUS.

strækker den bølgeeksponerede og klitdominerede kyst sig således fra Skallingekrog og ned til sydspidsen af barriereodden Langli.

Da den danske kartograf Johannes Mejer i 1650 udgav sit kort over det danske rige, er det et ganske andet indtryk man får af kystlandskabet ved Skallingen og Langli, se figuren på side 3. Selvom de to kort er grafisk forskellige, ses en række iøjnefaldende afvigelser mellem kortene. Langli, der på 1612-kortet fremstod som en odde, afbildedes af Mejer som en ø, og Skallingekrog er på nær et lille klitparti (Stormholm) forsvundet. I stedet viser Mejer en stor højtliggende vegetationsløs sandflade, som benævnes Schallingsand, og som tydeligvis er den nuværende Skallingens forløber.

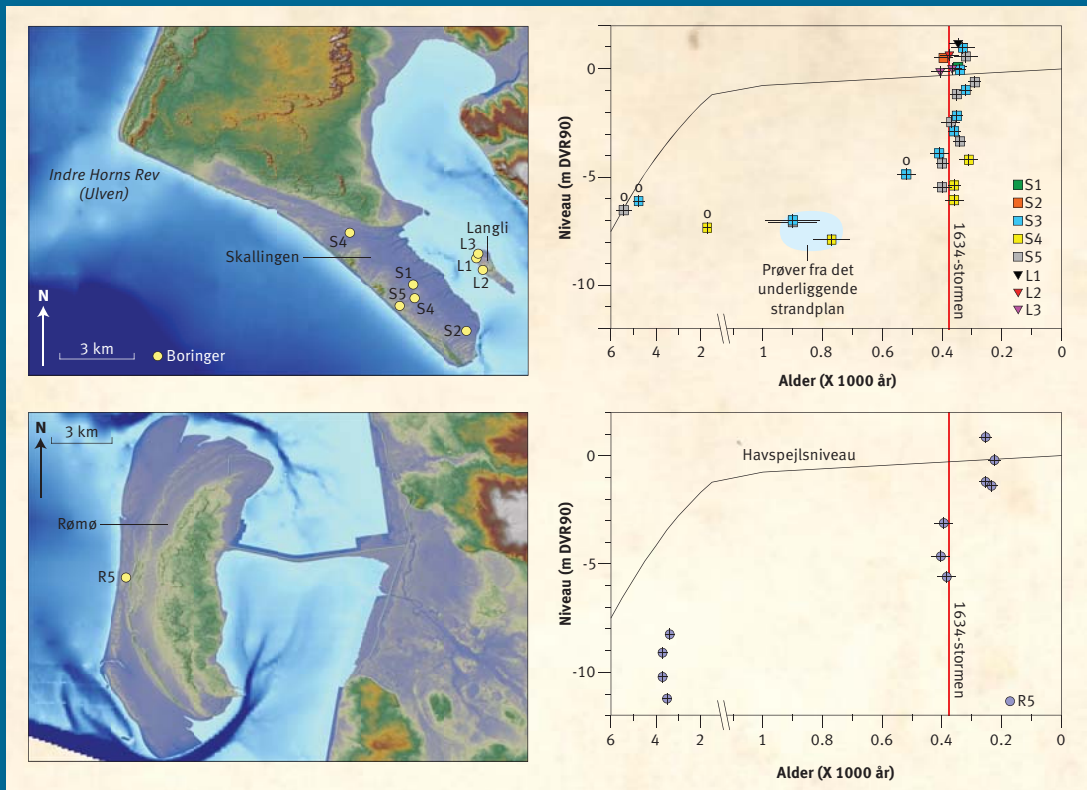
Det er oplagt at antage, at stormen i 1634 må have haft indflydelse på de kystmæssige ændringer, som forekom i det kortvarige tidsrum mellem de to kort blev tegnet. Dette underbygges da også af geologiske undersøgelser af en række borer og en stor mængde OSL-dateringer (se boksen) af sandet fra Skallingen og Langli. Borer har vist, at den nuværende Skallingen består af en forholdsvis tyk lagserie af homogene marine sedimenter, som er aflejret som en sandbanke oven på af-

lejringerne fra et ældre strandplan. Sedimenterne som udgør den marine sandbanke har en tykkelse på op til otte meter. Et eksempel på en boring fra Skallingen er vist i figuren ovenfor. De marine sedimenter er typisk overaflejret af yngre overskylssedimenter og/eller æoliske (vindtransporterede) sedimenter. OSL-dateringer af sedimenterne fra den marine sandbanke afslører, at opbygningen af sandban-

ken forløb forbløffende hurtigt, med gennemsnitlig 15–20 cm aflejring pr. år. Faktisk er de daterede sedimenter stort set aflejret på samme tidspunkt, hvis man tager højde for den usikkerhed, som er forbundet med hver OSL-datering. På alder-dybde-diagrammet på figuren side 5 fremgår det tydeligt, at aflejringerne, som er dateret i borer fra Skallingen, er stor set samtidige med tidspunktet for 1634-

OPTISK STIMULERET LUMINESCENS DATERING

Optisk stimuleret luminescens (OSL) datering udnytter den egenskab, at kvartskorn virker som "genopladelige batterier", der er i stand til gentagne gange at lagre energi. Hvis et kvartskorn begravnes (aflejres) og afskærmes fra sollys, lagres energi i kornet, når det bestråles med radioaktivitet udsendt fra naturligt forekommende kilder som Uran og Thorium. Hvis kvartskornet eroderes og herved bliver belyst med sollys frigøres den oplagrede strålingsenergi, og kornets energiniveau bliver igen nul. Denne proces kaldes nulstilling. Mængden af energi lagret i kornet er proportional med tiden, kornet har ligget begravet. Det vil sige, at jo længere tid kvartskornet er begravet, jo mere energi lagres i det. I laboratoriet bliver kornet belyst (optisk stimulering), hvorved det afgiver den oplagrede energi. Den udsendte energi kaldes også for luminescens-signalet. Luminescens-signalet kan omsættes til en alder, der svarer til tidspunktet for kornets aflejring. Hvis et kvartskorn ikke belyses tilstrækkeligt inden det aflejres og begravnes er der risiko for, at der er lagret en restenergi i kornet fra en tidligere aflejring. Ved datering af sådan et korn vil alderen fremstå fejlagtig gammel.



Kort med præcis placering af borerne samt alder-dybde-diagrammer for OSL aldre fra henholdsvis Skallingen og Langli (øverst) og Rømø (nederst). På x-aksen ses kornets alder, mens y-aksen viser kornets dybde. Dybden er i forhold DVR90, som omtrentlig svare til middelvandstanden. Den røde streg viser tidspunktet for 1634-stormen, mens den sorte streg viser havspejlsniveauet i løbet af de seneste 6.000 år. På det øverste alder-dybde-diagram fra Skallingen og Langli skal det bemærkes, hvordan aflejningsalderen for de fire nederste dateringer fra sandbanken er overestimeret både i forhold til alderen på de underliggende strandplanssedimenter og til 1634-stormen. Disse dateringer er markeret med et o. Denne overestimering skyldes formentlig, at det daterede sediment ikke nåede at blive fuldstændig nulstillet, inden det blev aflejret i sandbanken under stormen.

Illustration: Mikkel Fruergaard.

stormen. Det samme gør sig gældende for sedimenter dateret fra vestsiden af Langli. Af borerne, dateringerne samt de to historiske kort kan det udledes, at der i et tidsrum på 30 til 40 år efter stormen i 1634 blev aflejret en flere kilometer lang og bred sandbanke med en tykkelse op til otte meter. Sandbanken er den Johannes Mejer afbilder på sit kort fra 1650 og benævner Schallingsand. Barriereodden Langli, som under stormen var eksponeret for store stormbølger blev overskyllt og genembrudt, hvorved Langli blev til en ø.

HVOR KOM SANDET FRA?

For at opbygge en stor sandbanke som Skallingen kræves betydelige mængder sand. Da opbygningen af Skallingen foregik i løbet af relativt få år efter 1634-stormen, må de sedimenter, som Skallingen består af, komme fra en kilde beliggende ganske nært. En mindre del af sedimenterne til opbygningen af Skallingen er kommet fra den tidligere kyst samt fra barriereodden Langli. Under stormen har bølger eroderet kysten og transporteret sediment ud på strandplanet, hvor det er blevet aflejret. Den største del af sedimenterne i Skallingen kom-

mer dog formentlig fra den indre del af Horns Rev – kaldet Ulven – som ligger i forlængelse af Blåvands Huk, se kortet side 2. Ulven opbygges af sedimenter, som tilføres med en sydgående sedimentstrøm. Under og efter stormen i 1634 er aflejringerne ved Ulven formentlig blevet ustabile og transporteret mod syd, hvor de således kom til at indgå i opbygningen af Skallingen.

1634-STORMENS BETYDNING FOR RØMØ

På Rømø i den sydligste del af det danske Vadehav er sporene efter 1634-stormen også bevaret i sedimenterne. En boring på stranden af øen samt OSL dateringer har påvist, at sedimenterne ned til en dybde af cirka 14 meter under overfladen kan inddeles i tre sekvenser. Hver sekvens er omkring fire til fem meter tyk og består af aflejringer med næsten samme alder. Dette ses tydeligt på alder-dybde-diagrammet ovenfor. Aflejringer i midterste sekvens er samtidig med tidspunktet for 1634-stormen. Dette indikerer, at sediment fra strandplanet ud for Rømø blev eroderet under stormen. Men da Rømø ligger i en del af Vadehavet, som har et stort input af sediment, som tilføres af både

en nord- og sydgående sedimentstrøm, blev der på meget kort tid efter stormen aflejret nye sedimenter på det eroderede strandplan. Den yngste af de tre sedimentære sekvenser fra Rømø-kernen har desuden samme alder som en større storm, der ramte Vadehavet i 1770. Det er sandsynligt, at også den nedre og ældste sekvens i kernen er aflejret efter en storm, som i så fald indtraf for 3.800 år siden.

HER KAN DU LÆSE MERE

Videnskab.dk, 4. marts 2013 - Sandkorn vidner om katastrofal superstorm i Danmark

<http://videnskab.dk/kultur-samfund/sandkorn-vidner-om-katastrofal-superstorm-i-danmark>

Geoviden 2009, nr. 1 Vadehavet

Geoviden 2005, nr. 3 Danmarks kyster

GEOLOGI – nyt fra GEUS, 1997 nr. 4 Blåvands Huk – Horns Rev området – et nyt Skagen?

B
O
K
S

GRUNDVANDSKORTLÆGNING I THAILAND – EKSPORT AF DANSK TEKNOLOGI OG KNOWHOW

Den internationale interesse for dansk teknologi, viden om og erfaring med benyttelse og beskyttelse af grundvand er steget stærkt de senere år. Det skyldes ikke mindst, at Danmark er kendt for at basere sin drikkevandsforsyning 100 % på grundvand af en naturlig høj kvalitet, hvilket er enestående. Den intensive indsats for at detailkortlægge vores vigtigste grundvandsforekomster har ført til udviklingen af nye værktøjer og metoder. Et af de flagskibe, som har vakt særlig stor opmærksomhed internationalt, er det danskudviklede, helikopterbårne SkyTEM-system, der benyttes til at udføre scanninger af jordlagene ned til ca. 300 meters dybde. Målesystemet er et stærkt kortlægningsværktøj og allerede anvendt på alle kontinenter.

Blandt de lande, som nu er begyndt at anvende dansk teknologi, viden og erfaring i grundvandskortlægningen er Thailand, som har gennemført og selv finansieret et større pilotprojekt i perioden 2011–2013.



SkyTEM-måleudstyret i luften.
Foto: Verner Søndergaard.

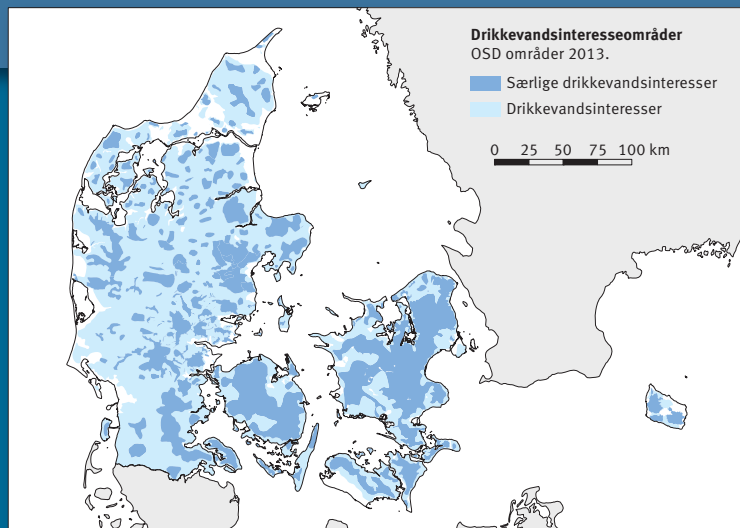
DEN NATIONALE DANSKE GRUNDVANDSKORTLÆGNING

I 1999 blev der iværksat en lovbestemt, detaljeret kortlægning af vores vigtigste grundvandsressourcer inden for de ca. 40 % af Danmarks areal, der er udpeget som 'Områder med Særlige Drikkevandsinteresser (OSD)', se figuren nedenfor. Denne kortlægning, som afsluttes i 2015, skal sikre, at vi har den fornødne viden til at kunne beskytte og sikre tilstrækkeligt godt grundvand for fremtidens danske drikkevandsforsyning.

Kortlægningen styres af Miljøministeriet, der overtog ansvaret ved amternes nedlæggelse pr. 31. december 2006. GEUS, Aarhus Universitet og en række højt specialiserede konsulentfirmaer er alle aktører i den omfattende kortlægning. Resultaterne videregives til kommunerne, som planlægger og gennemfører konkrete indsatser for at beskytte grundvandet.

Typisk benytter man en kombination af geofysiske målinger og borer, som de alt-overvejende kilder til at skaffe sig den nødvendige information om grundvandsforholdene i et område. De geofysiske metoder er indirekte metoder, der benyttes til målinger fra luften, på jordoverfladen eller i borer.

En af de hyppigst anvendte geofysiske målemetoder i Danmark, som også har vakt særlig opmærksomhed i udlandet, er den nyudviklede, danske SkyTEM-metode.



Områder med særlige drikkevandsinteresser (ca. 40 % af Danmarks landareal).

Illustration: Lisbeth Tougaard, GEUS.

INTERNATIONAL INTERESSE FOR DANSK KNOWHOW

I udlandet lægges der særlig vægt på, at vi i Danmark har tradition for at bygge hele vores drikkevandsforsyning på grundvand af høj kvalitet med ingen eller kun simpel vandbehandling. Dette forudsætter, at grundvandet beskyttes effektivt mod forurening. Derfor har vi over en længere årrække opbygget stor erfaring i at kortlægge vores vigtigste grundvandsressourcer.

Der er lagt mange kræfter og ressourcer i at udvikle metoder, instrumenter, analyseredskaber, software, databaser, nationale standarder, vejledninger osv. for at kunne håndtere og tolke de mange forskellige typer data og informationer, der indsamles i forbindelse med en detaljeret kortlægning af grundvandsressourcen. En høj grad af samarbejde mellem det offentlige og private har været et vigtigt omdrejningspunkt. Derfor ligger der nu samlet en ene-

VERNER SØNDERGAARD

Geofysiker, GEUS
vhs@geus.dk

PETER B. SANDERSEN

Seniorrådgiver, GEUS
psa@geus.dk

BJARNI PJETURSSON

Systemudvikler, GEUS
bpj@geus.dk

RICHARD THOMSEN

Chefkonsulent, GEUS
rth@geus.dk

B O K S

SkyTEM-METODEN

SkyTEM-metoden er en geofysisk målemetode udviklet af en forskergruppe på Aarhus Universitet. Målingerne udføres fra en helikopter, der overflyver et område langs parallelle linjer med 150–250 meters indbyrdes afstand, og med måleudstyret hængende under helikopteren i en højde af 30–40 meter over terræn.

Målemetoden er en såkaldt elektromagnetisk metode, som fungerer ved, at måleudstyret mange gange i sekundet udsender et magnetfelt. Hver gang, der slukkes for dette primære magnetfelt, induceres et sekundært magnetfelt i jordlagene under helikopteren, og henfaldet af dette magnetfelt registreres af måleudstyret. Måleresultaterne benyttes til at danne et 3-dimensionalt billede af, hvordan de forskellige jordlags elektriske ledningsevne varierer i det undersøgte område ned til dybder på omkring 300 meter, se figuren nedenfor.

Man kunne også kalde dette for en slags scanning af jordlagene. I lighed med scanninger af hoved og krop, som de fleste af os kender til, så skal også geofysiske scanninger analyseres og tolkes af fagfolk. I dette tilfælde er fagfolkene geofysikere og geologer, som herefter tolker og opstiller geologiske modeller for jordlagene i undergrunden og udpeger de mest velegnede steder for placering af borer og muligheder for at finde potentielle grundvandsmagasiner.



Helikopter med SkyTEM-systemet og skematisk gengivelse af de elektromagnetiske felter, som systemet henholdsvis skaber og måler.
Illustration: Annabeth Andersen, GEUS omtegnet efter Aarhus Universitet, HydroGeophysics Group.

stående erfaring og viden hos forskningsinstitutioner, offentlige myndigheder, konsulentfirmaer og vandforsyninger. Dansk eksport af grøn teknologi og knowhow på grundvandsområdet er derfor nu blevet en vare, som efterspørges flere og flere steder rundt om i verden, hvor manglen på vand har nået kritiske niveauer.

GRUNDVANDSKORTLÆGNING VED KAMPHAENG PHET, THAILAND

Når man ser billeder fra Bangkok og andre dele af Thailand, hvor gaderne står under vand, får man ikke indtryk af at vand er en mangelvare. Ikke desto mindre er der områder af Thailand, hvor der i perioder af året er alvorlig vandmangel, både til drikkevandsforsyning og kunstvanding, se foto side 8.

Department of Groundwater Resources (DGR) gennemfører i disse år bl.a. en hydrologisk kortlægning i et 48.000 km² stort område, der dækker væsentlige dele af Upper Central Plain, som er opland til floden Chao Phraya. Det er denne flod, der løber gennem Bangkok og munder ud i den Thailandske Golf. I kortlægningsområdet er der stor befolkningstæthed og en anseelig del af Thailands grønsags- og landbrugsproduktion foregår her.

Det danske bidrag til det thailandske projekt har indtil nu omfattet:

- Etablering af kontakt og indgåelse af aftale gennemført af Danwater/Envidan.
- Kortlægning med den dansk udviklede SkyTEM-metode udført af SkyTEM Surveys ApS i et 1.000 km² stort område.
- Levering af en thailandsk version af den dansk-udviklede database GERDA, som benyttes til lagring af både geofysiske data og

tolkningen af disse data, inklusive opsætning og træning i Thailand udført af GEUS.

- Geologisk tolkning af SkyTEM-data og borer, opstilling af en overordnet geologisk model for området, udpegnings af 15 nye boringslokaliteter samt afrapportering leveret af GEUS.
- Kurser og overførsel af knowhow både i Bangkok og i Danmark leveret af GEUS, I-GIS og Aarhus Universitet; bl.a. har 8 deltagere fra Thailand været på kursus i 30 dage i Danmark.

FRA SkyTEM MÅLINGER TIL GEOLOGI VED KAMPHAENG PHET

Pilotområdet, som af DGR blev valgt til gennemførelse af den første SkyTEM-kortlægning i Thailand, ligger ved Kamphaeng Phet i det centrale Thailand, se side 8. Det 1.000 km² store område ligger i den vestlige rand af et stort aflejringsbassin, hvor terrænet generelt er fladt og jævnt hældende mod øst. Kortlægningen er udført ved overflyvning af området langs flyvelinjer med 200 meters mellemrum, hvilket har givet en meget god datadækning, se figuren side 8 i midten. På grund af metodens følsomhed over for elektrisk støj fra fx elkabler ses huller i datadækningen langs veje og ledningstracéer, hvor støjpåvirkede data er frasorteret.

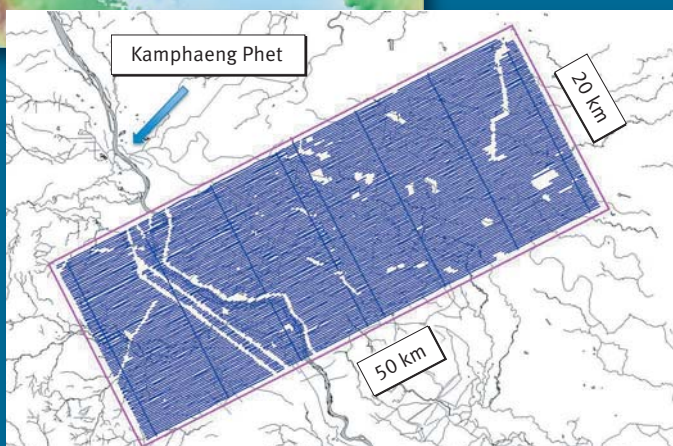


Pilotprojekt med SkyTEM-kortlægning ved Kamphaeng Phet Thailand.



Oversvømmelse i Bangkok i november 2011.

Foto: Bjarni Pjetursson.



Kortlægningsområdet ved Kamphaeng Phet. Flyvelinjer er markeret med blå.

SkyTEM Surveys, som forestod overflyvning, dataindsamling og -behandling, leverede en geofysisk tolkning til GEUS, som tog sig af den efterfølgende geologiske tolkning. Det var ønsket fra thailandsk side, at den overordnede geologiske tolkning af SkyTEM data sammenholdt med oplysninger fra borerer skulle foregå i Bangkok i et tæt samarbejde mellem GEUS og DGR, således at de thailandske medarbejdere kunne få indsigt i proces og arbejdsmetode. Flere workshops og en ekskursion til kortlægningsområdet blev derfor afholdt i løbet af de 3 uger, arbejdet foregik. Se fotos nederst.

Det primære resultat fra SkyTEM målingerne viser et billede af variationerne i den elektriske modstand af jordlagene i undergrunden. De geologiske tolkninger har derfor fokus på at oversætte disse modstandsvariationer til jordlagstyper. Ved kortlægning i et aflejringsbassin som ved Kamphaeng Phet vil lave elektriske modstande typisk afspejle lerede aflejringer mens høje modstande oftest betyder lag med sand og grus. Granit og kalk, som findes under aflejringerne, viser også typisk høje modstande. Men billedet er dog ikke helt så simpelt, både fordi aflejringerne i bassinet ofte skifter mellem ler og sand, og fordi metoden har begrænsninger i evnen til at opløse tynde lag. Det er derfor vigtigt at inkludere informationer fra borerer i de geologiske tolkninger og samtidig huske på, at såvel de geofysiske metoder som de geologiske borebeskrivelser har deres begrænsninger.

På figuren øverst side 9 ses et middelmodstandskort, som i intervallet 45–50 m.o.h. med blå og grønne farver viser bjergarter med lav elektrisk modstand og med røde og lilla farver viser bjergarter med høj elektrisk modstand. Kort som disse ned gennem hele lagserien til omkring 200–300 meters dybde giver et 3D-billede af undergrundens opbygning. På figuren øverst side 9 er indtegnet den overordnede

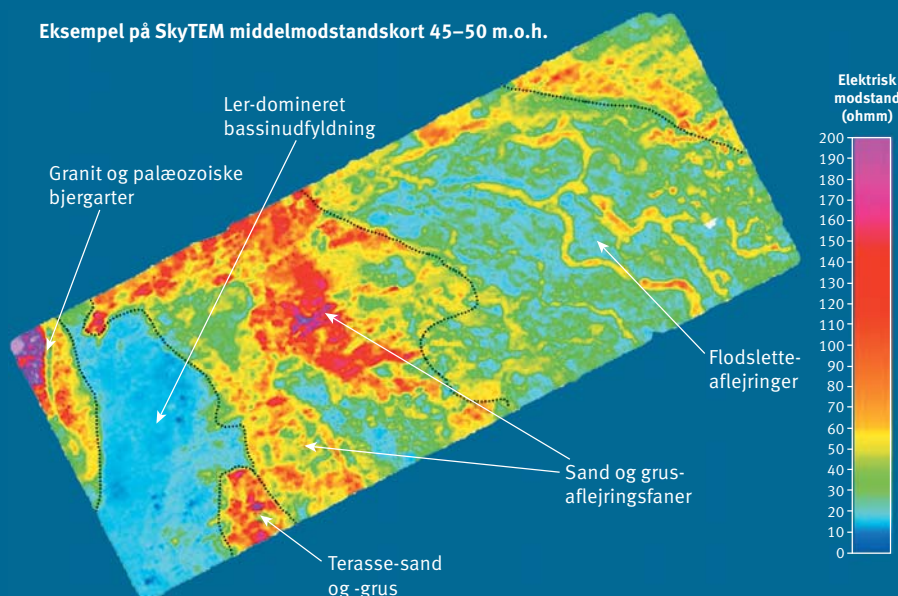


Besigtigelsestur til Kamphaeng Phet-området.

Fotos: Peter B. Sandersen.



Eksempel på SkyTEM middelmodstandskort 45–50 m.o.h.



geologiske tolkning i det pågældende interval. Til højre på figuren er det eksempelvis tydeligt at se de gule, slyngede flodsenge, der har elektriske modstande lidt højere end de omkringliggende grønblå lag. Dette indikerer, at aflejringerne i flodsengene er grovere end i den omgivende slette.

De geologiske tolkninger udgjorde det vigtigste grundlag for udpegning af positioner til nye borer, som igen ville kunne bidrage med flere detaljer til beskrivelsen af den geologiske opbygning og gøre tolkningen af de geofysiske data mere sikker.

Efter træning i tolkning af geofysiske data og den efterfølgende geologiske tolkning er det forhåbningen, at thailænderne i stigende grad selv vil kunne fortsætte arbejdet med grundvandskortlægningen i Thailand efter 'dansk model'.

EKSPORT AF DANSK UDVIKLET GEOFYSIKDATABASE

I forbindelse med dataindsamlingen i Thailand blev der udtrykt interesse for en tilhørende database. Derfor gik GEUS i dialog med DGR om leverance af en thailandsk udgave af den nationale danske geofysikdatabase, GERDA. Opgaven blev igangsat i 2011 og databasen overdraget til DGR i 2012.

Siden 1998 har GEUS drevet og videreudviklet den nationale database for geofysik, kaldet GERDA. Heri ligger data indsamlet fra stort set al grundvands- og råstoftkortlægning de seneste 20 år, leveret af mange forskellige konsulentfirmaer i en struktureret, let tilgængelig form.

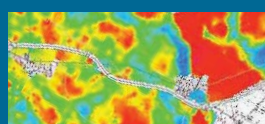
Via hjemmesiden gerda.geus.dk kan man nå databasen. GERDA indeholder bl.a. elektriske og elektromagnetiske data, refleksionsseismiske data m.fl.

Alle oplysninger om dataopsamling, -behandling og -tolkning gemmes for at bevare muligheden for en genanvendelse og ny processeering af data. GERDA-databasen udgør et centralt element i et dansk udviklet system af værktøjer til sikker håndtering og integreret tolkning af store datamængder. Elementerne i systemet er udviklet til at fungere sammen og udgør nu et unikt system, som har vakt betydelig international interesse, som her i Thailand, hvor hele det danske system undtaget Jupiter nu benyttes.

Salg af software og databaser over landegrænser er ikke nogen simpel sag. Forud for overdragelsen til DGR er gået mange timer med at gøre GERDA-databasen international og sikre fremdrift for projektet på tværs af tidszoner og kulturbarrierer. Den danske GERDA er i årenes løb blevet udviklet og beskrevet, så at alle relevante parter ved, hvordan den bruges. Men at klippe den ud fra vante rammer viste sig at være en både teknisk og kulturel udfordring; fx skulle systemet køre på en anden type hardware, og det var et krav, at det kunne køre på thailandsk, hvilket krævede en del ændringer af datamodel og koderutiner. Hertil kom de kulturelle barrierer, hvor et 'ja' også kan betyde det modsatte, og hvor interne problemer, såsom oversvømmelser hos kunden, betød perioder næsten uden dialog. En medarbejder fra GEUS overdrog databasen til DGR første gang i slutningen af oktober 2011 – tilfældigvis samtidig med den meget omtalte oversvømmelse af Bangkok. Det blev derfor til en meget hurtig installation og kortfattet introduktion hos kunden, hvorefter instituttet blev utilgængeligt pga. vandmasserne, se foto øverst side 8. Først et halvt år senere var kunden parat til et nyt forsøg, hvorefter systemet endelig kunne overdrages.

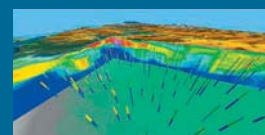
Aarhus Workbench

- Visualisering
- Dataanalyse
- Datatolkninger



GeoScene 3D

- Visualisering
- Modellering



gerda.geus.dk

- Upload af data og tolkninger
- Søgning i databasen
- Download af data og modeller



GERDA

Wenner, CVES, Schlumberger, TEM, PACES, SKYTEM, HEM, seismik, logs, modeller

JUPITER

Boringsoplysninger, lithologi, grundvandsspejl, vandanalyser m.v.

Databaser fra GEUS.

Illustration: Bjarni Pjetursson.

OLIEINDVINDING - EKSPERIMENT MED KALK, VAND OG OLIE

I løbet af 3 år har ca. 12.000 gymnasieelever i naturgeografi udført et eksperiment, der både illustrerer hvordan kridt kan indeholde rigtig meget olie og hvordan processen med vandinjektion kan bruges til at drive denne olie ud – helt som det sker i de danske kalk-felter i Nordsøen. GEUS har designet eksperimentet og har anvendt kridt fra Stevns Klint som analog til reservoir-kalken. Ca. 3.000 oliemættede kridtprøver er blevet afsendt til gymnasier landet over.

Indvinding af olie og gas fra de danske felter i Nordsøen foregår med højteknologiske metoder og en del af de processer, som indgår deri, kan normalt hverken iagttages eller forstås intuitivt. Derfor har GEUS designet nogle simple eksperimenter, som kan bidrage til forklaring eller illustration af disse processer. Et af eksperimenterne er udviklet som et modelforsøg for at illustrere, hvorledes injektion af vand kan drive olien ud af den tætte kalk. Samtidig bliver det klart hvordan en kalkprøve, der ser tæt ud, alligevel kan have en meget høj porøsitet, hvori olien sidder, helt som en analog til olien i den Danske Nordsø.

OM OLIE/GAS I NORDSØEN

Olieproduktionen i Danmark er karakteristisk ved, at over 90 % af den producerede olie kommer fra kalk-felterne. Især injektion af vand i kalken har bidraget til en forøgelse af produktionen. De sidste 20 år har kombinationen af horisontale brønde og injektion af vand været en stor succes. Brøndene bores næsten parallelt i de olieholdige kalk-lag, og hver anden brønd bruges til produktion og hver anden som vand-injektor.

Det vand der pumpes ud i kalken fordeles hurtigt ud i sprækker, som kan danne et tæt netværk i kalken. Nogle af sprækkerne er opstået naturligt under forskydninger i formationen. Alle disse sprækker forsyner kalken med vand som trænger ind i den uforstyrrede kalk og tvinger olien ud. Når olien kommer ud i sprækkerne, vil den løbe af sted sammen med vandet og blive skubbet mod produktionsbrønden.



Et forsøgssæt med oliemættede prøver, en tør kridt-prøve, beholder og vand. Kerneprøverne er afskrivekridt fra Stevns, der er ca. 66 millioner år gammel. Den er meget lig den kalk, som findes i nogle af felterne i Nordsøen. Kridtprøven er blevet fyldt med olie i et laboratorium, hvor den først lægges i et bæger med olie i et vakuumkammer. Når luften lukkes ind igen trykkes olien ind i prøven, der så er mættet med olie i alle pore-rum.

Foto: Peter Frykman.



Den ekstra drivkraft til at få olie ud af små hulrum kommer fra hårrørvirkningen i de meget små porer, som findes i kalken, og hvor der opstår store kapillærkræfter. Det kan illustreres ved at se på forskellige tykkelser af rør, hvor det ses, at vand fra et fritstående vandspejl hæves længst op i de tyndeste rør. Hvis man skulle finde på at bruge et glas-sugerør til sit saftevand kan effekten ses tydeligt.

Foto: Peter Klaus Warnemoors, GEUS.

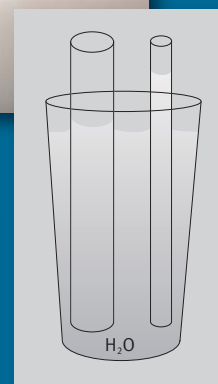
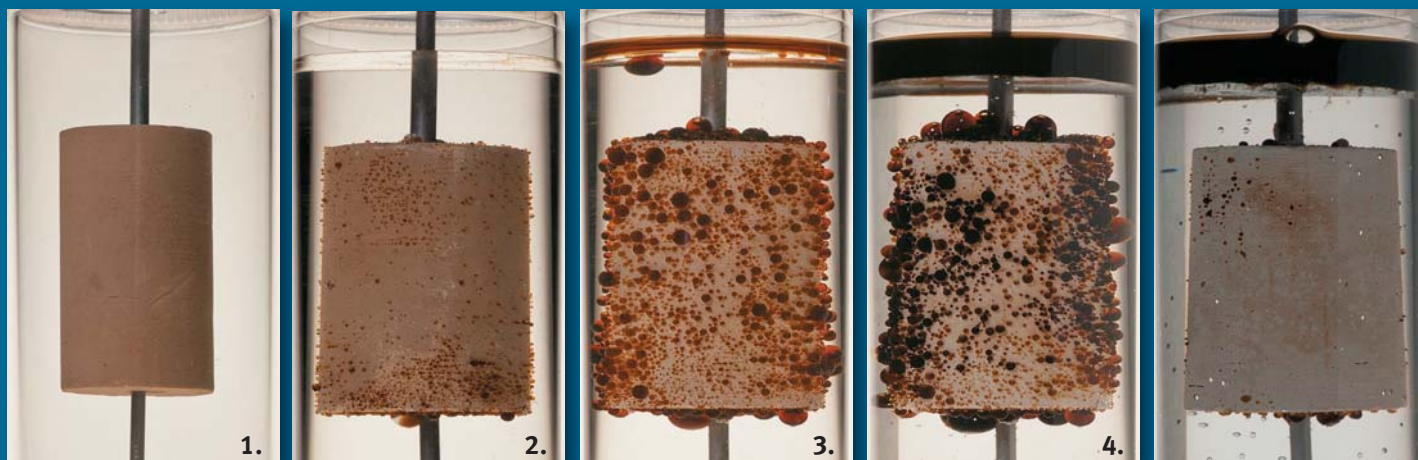


Illustration: Kristian Anker Rasmussen, GEUS.

PETER FRYKMAN

Seniorforsker GEUS

pfr@geus.dk



Billedsekvensen viser et forsøg over ca. 3 timer, hvor billede 1 er den oliemættede prøve uden vand. Billede 2 er taget 10 sekunder efter der er tilsat vand, og de følgende viser hvorledes oliedråber kommer ud og samles oven på vandet (billede 3 efter 9 minutter, billede 4 efter en time). Det sidste billede er taget efter 3 timer og efter at prøven er rystet lidt for at få mest mulig olie til at ligge oven på vandet. Til dette eksperiment er anvendt fortyndet råolie. Normalt vil man opnå en produktion af 60-70 % af den totale mængde olie, der er inde i kridtet.

Fotos: Jakob Laurrup, GEUS.

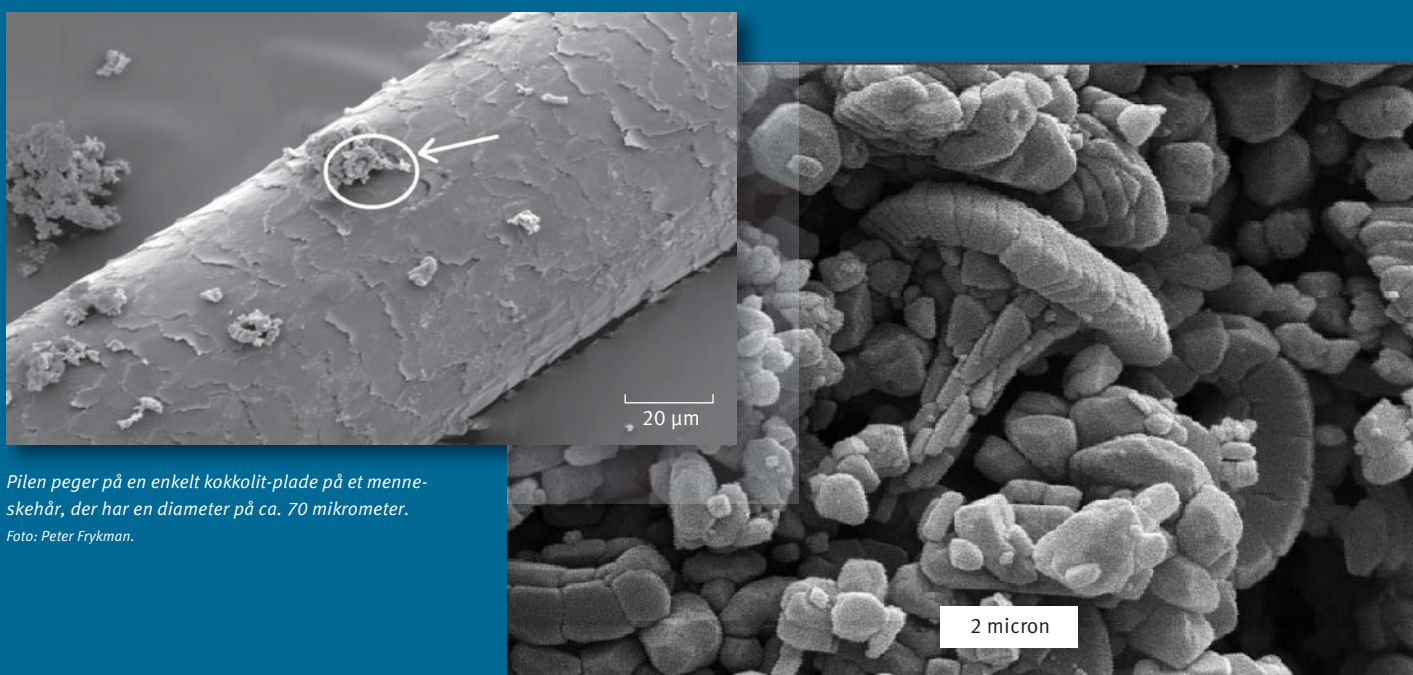
EKSPERIMENTET

Kridtprøven der anvendes er blevet fyldt med olie i et laboratorium, hvor den er blevet vakuum mættet. Prøven sættes i en beholder med vand.

Det ses efter et lille stykke tid, hvorledes olien spontant kommer ud af prøven, som føl-

ge af at vand suges ind i kalken pga. de store kapillærkræfter i de meget små porer der er i kalken (hårrørs-virkning). Kridtet består af kalcit, som af natur er vandvådt, dvs. mineral-overfladen tiltrækker vand. Dette fænomen skaber kapillærvirkningen, hvor vand kan suges op i tynde rør på trods af tyngdekraften.

Skrivekridt er 98 % kalcit (CaCO_3), og består udelukkende af meget små runde kalk-plader (kokkolitter) og kalcit-krystaller, dannet af mikroskopiske kalk-alger (*Coccolithophorider*) i Kridttidens hav.



Pilen peger på en enkelt kokkolit-plade på et menneskehår, der har en diameter på ca. 70 mikrometer.

Foto: Peter Frykman.

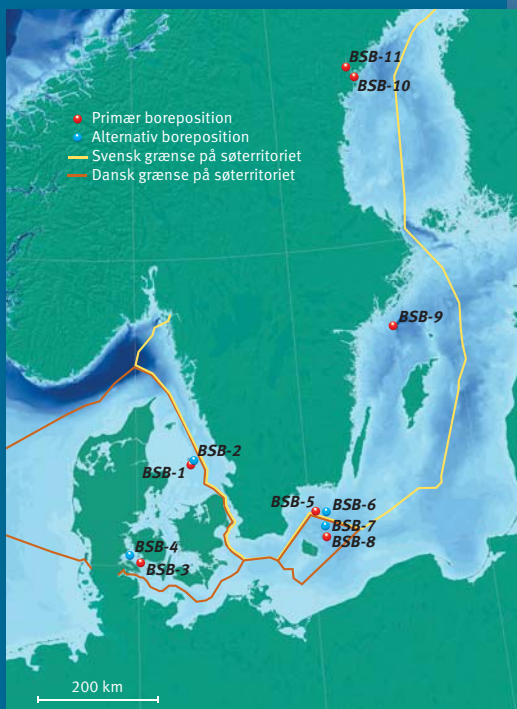
Billede taget med Scanning elektronmikroskop (SEM). Det viser, at i et stykke kridt fra Stevns Klint kan man se både komplette kokkolit-plader, og en mængde små fragmenter, der har størrelser omkring 1/1000 mm.

Foto: Peter Frykman.

KATTEGAT - NORDEUROPPAS BEDSTE KLIMA- OG MILJØ-DATAARKIV?

DAN-*IODP-SEIS* er et Geocenter samarbejdsprojekt mellem en række danske geologiske institutioner. Målet med projektet er at få mest muligt ud af Østersø IODP borekampagnen, som løber af stablen i efteråret 2013. Ved at kombinere arkiv seismiske data og nyindsamlet 2D-seismik med IODP kerneoplysninger, vil det være muligt af få et detaljeret kendskab til dybe danske kvartære bassiner, som indeholder sedimenter fra den sidste glacielle cyklus.

Det forventes at undersøgelserne vil give detaljerede oplysninger om Eem mellemistidens udvikling i Kattegat-området, den efterfølgende Weichsel istid samt den endelige afsmeltning. Desuden vil det være muligt at vurdere i hvilken grad, det skandinaviske isskjold har bidraget til den globale klimaudvikling.



Placeringen af IODP ekspedition 347 borelokaliteterne i Østersøen. Bemærk BSB-1 i Kattegat syd for Anholt.

Illustration: Lisbeth Tougaard og Annabeth Andersen, GEUS. Efter IODP Proposal. Paleoenvironmental evolution of the Baltic Sea Basin through the last glacial cycle.

IODP – UNDERSØGELSER AF HAVBUNDEN

IODP – Integrated Ocean Drilling Program – er et internationalt marint undersøgelsesprogram med fokus på Jordens opbygning, udviklingshistorie og miljøændringer gennem tiden, ud fra de arkiver, der er indeholdt i havbundens sedimenter. Besøg evt. hjemmesiden: www.iodp.org.

De internationale havbundsboringer har fundet sted siden 1961 og har resulteret i en mængde boringer i oceanskorpen over hele kloden. Aktiviteterne har foregået under forskellige navne, bl.a. Deep Sea Drilling Project (DSDP), og har benyttet nogle få specialiserede boreskibe, hvoraf det mest berømte er JOIDES Resolution.

IODP bygger videre på de tidligere programmers succes, men er mere fleksibelt, idet man nu vælger skib efter behovet på det enkelte projekt. Således skal 'IODP Baltic Sea Expedition 347' tilpasses Østersøens lave vanddybder. Derfor har man valgt at benytte boreskibet Greatship Manisha, som kan foretage boringer under disse forhold, se bagsiden af bladet.

Ekspedition 347 er foregået hen over sensommer–efterår 2013. Da der er tale om et forholdsvis lille boreskib uden laboratoriefaciliteter, er det ikke muligt at udføre de videnskabelige borekerne-undersøgelser om bord, så der foretages kun de mest nødvendige analyser inden kernestykkerne bringes i land og transporteres til et stort kernelager i Bremen. Efter togtet vil der blive afholdt et 'onshore party', hvor et internationalt forskerhold bruger en måneds tid på at udtage prøver og beskrive kernerne. Efterfølgende har disse forskere forhåndsret til at undersøge resultaterne i et år, inden data bliver offentligt tilgængelige for resten af forskerverdenen.

IODP BALTIC SEA EKSPEDITION 347 – ØSTERSØENS HISTORIE I DE SIDSTE 130.000 ÅR.

I forbindelse med Østersø IODP projektet bliver der boret på 11 lokaliteter, hvoraf de 3 findes i danske farvande, hhv. i Kattegat, Lillebælt og Bornholmer Bassinet nordøst for Bornholm. Besøg evt. hjemmesiden: www.eso.ecord.org/expeditions/347/347.php.

Formålet med boringerne i Kattegat er at hente sedimenter fra havbunden ned til ca. 200 meter under havbunden. Denne 'lagpakke' forventes at indeholde alle de kvartære lag, der findes i området, og skal derfor gerne omfatte hele perioden fra begyndelsen af sidste mellemistid og frem til i dag.

Projektet har 4 hovedtemaer:

1. Klima- og havniveauændringer under Eem mellemistiden
2. Komplexiteten af den sidste istid (Weichsel istiden)
3. Istidens og efteristidens styrende klimamekanismer
4. Den dybe biosfæres reaktion på den glacielle og interglacielle cyklus

Østersøens placering i randzonen af det skandinaviske isskjold betyder både, at den har været berørt af gentagne nedsisninger og at den har en stor følsomhed for klima- og havniveauændringer og tilgang af store sedimentmængder. Men det betyder også, at Østersøen udgør det største europæiske interkontinentale bassin med et unikt arkiv over klimaudviklingen i den sidste glacielle cyklus.

JØRN BO JENSEN

Seniorforsker, GEUS
jbj@geus.dk

CARINA BENDIXEN

Ph.d. studerende, GEUS
cb@geus.dk

Et nyt GeoCenter Danmark projekt, kaldet DAN-IODP-SEIS, har taget hul på helt friske studier af Kattegats geologiske udvikling igennem de sidste 130.000 år. Forskerne bag projektet er af den faste overbevisning at sedimenterne, der ligger gemt i Kattegats bassiner, udgør det bedste klima- og miljø-dataarkiv i Nordeuropa. Endvidere mener forskerne, at de geologiske ændringer i Kattegat kan have haft stor betydning for de globale klimaændringer. Projektet er led i en større geologisk satsning i Østersøen, der har til formål at opnå en øget indsigt i den geologiske udvikling igennem den sidste glaciære cyklus, som omfatter Eem Mellemistid og Weichsel Istid, og som varede fra ca. 130.000 til 11.700 år før nu.

Projektet er et dansk initiativ, som knytter sig til det internationale boreprogram 'IODP Baltic Sea Ekspedition 347', se boksen side 12. Boretogtet løber af stablen i efteråret 2013, hvor det kommercielle boreskib Greatship Marnisha udfører en række borer i Østersøen. I dansk farvand bliver der boret i hhv. Lillebælt, i farvandet nord for Bornholm og i Kattegat syd for Anholt. Det er første gang nogensinde, at der udføres IODP-borer i Østersøen.

Det overordnede mål med DAN-IODP-SEIS-projektet er at få mest muligt ud af IODP borekampagnen i Østersøen, se boks nedenfor. Dette kommer til at ske ved at kombinere eksisterende seismiske data med nyindsamlet '2D multi-

kanal seismik' og med IODP borekerne-oplysningerne. Derved fås et detaljeret kendskab til de aflejrede sedimente og den geologiske udvikling i de dybe danske kvartære bassiner. De detaljerede undersøgelser af borekerne og

DAN-IODP-SEIS PROJEKTET

DAN-IODP-SEIS er et 3-årigt projekt finansieret af Geocenter Danmark (se bagsiden af Geoviden) i samarbejde med Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) og med støtte fra Dansk Center for Havforskning (DCH). Ud over institutionernes projektdeltagere er der bevilget en 3-årig Ph.d.-stilling med fokus på tolkning af de seismiske data. Ph.d.-en er tilknyttet GEUS med vejledning fra IGN ved KU.

Den tætte tilknytning til 'IODP Baltic Sea Ekspedition 347' er sikret af at Geocenteret medfinansierer en 2-årig postdoc med fokus på studier af biostratigrafi og aflejningsmiljø i marine sedimente fra Eem mellemistid og Holocæn, fra bl.a. Kattegat-boringerne. Postdocen er tilknyttet IG ved AU.

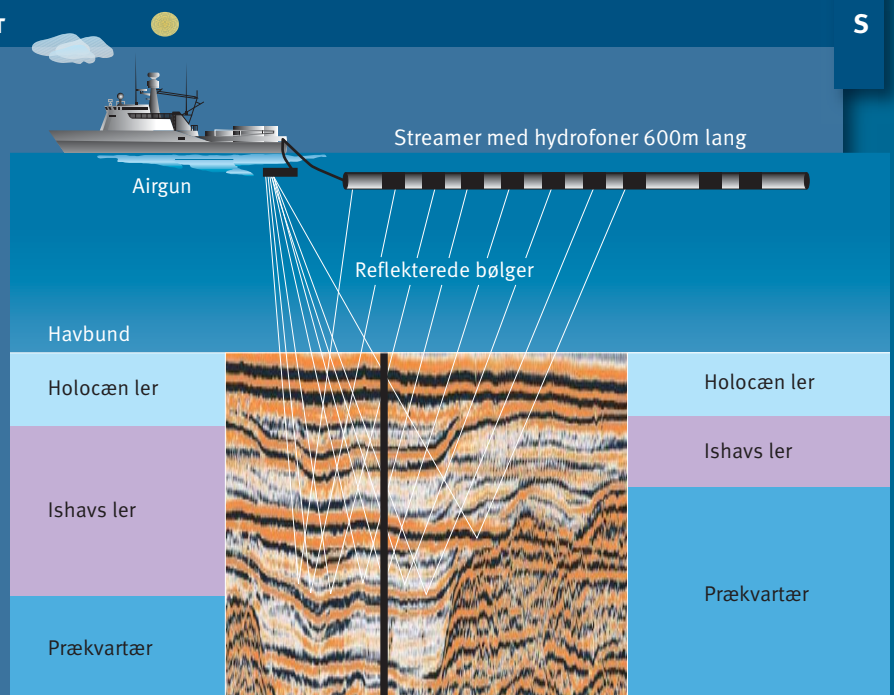
Deltagerne i projektet er således: Johan Nyberg fra SGU; Ole R. Clausen, Holger Lykke-Andersen, Marit-Solveig Seidenkrantz, og Per Trinhammer og Anne-Sofie Fangel fra IG/AU; Lars O. Boldreel fra IGN/KU og Jørn B. Jensen, Carina Bendixen og Lars-Georg Rödel fra GEUS.

Udgifterne til sejlads er så bekostelige at dataindsamling til søs ofte må helt eller delvis opgives. Derfor har det været af stor betydning at SGU er gået med i en fælles Kattegat-kortlægning, hvor man deles om udgifterne til sejlads med det svenske Ocean Surveyor. Derved er sejladsudgifterne fra dansk side minimeret og tilmed er det lykkedes at få disse udgifter dækket af DCH.

B
O
K
S

MULTIKANAL REFLEKSIONS SEISMIK I KATTEGAT

DAN-IODP-SEIS undersøgelserne i Kattegat blev udført vha. undersøgelsesskibet Ocean Surveyor, som trak et 600 meter langt kabel, en såkaldt streamer, indeholdende en serie af hydrofoner med konstant interval imellem. Streameren blev placeret i et par meters dybde under havoverfladen, hvilket blev kontrolleret af et antal flydere (birds) og en halebøje, som trak streameren ud i den rigtige dybde. Den seismiske lydkilde bestod af en airgun (luftkanon), der udløste komprimeret luft og en sparker, der fra talrige tips udløste en elektrisk puls. De to instrumenttyper udsender lyd-pulser med hver deres karakteristiske frekvensområde og med nogle få sekunders interval. Lydpulserne trængte nede gennem havbunden og reflekteredes tilbage fra forskellige jordlag. De reflekterede lydbølger blev modtaget af hydrofonerne og registreret på Ocean Surveyor. Efter endt databehandling blev der produceret seismiske profiler, som efterfølgende vil blive tolket og danne basis for en 3D-model af bl.a. bassin-aflejringerne i området med IODP-boringen.



BSB-1B

Principskitse af multikanal refleksions-seismik i Kattegat over IODP boring BSB-1B.

Illustration: Jørn Bo Jensen og Annabeth Andersen, GEUS.

de seismiske data gør det muligt at beskrive, hvordan klima- og miljøændringerne har udviklet sig i Kattegat i tid og rum igennem hele sidste mellemistid og efterfølgende istid, frem til den igangværende mellemistid. Og da tykkelsen af de kvartære lag er over 200 meter, forventer vi at kunne beskrive udviklingen i en detaljeringsgrad, som ikke har været muligt i de hidtidige undersøgelser i Nordeuropas søbassiner.

Ved at sammenholde de klima- og miljømæssige resultater med havbundsundersøgelser og iskerne-studier i Grønland, vil vi dels undersøge sammenhænge mellem klima- og miljøvariationerne i de to regioner, dels undersøge, hvorvidt lokale ændringer i Kattegat-regionen har haft indflydelse på de globale klimavariationer.

TOGT JUNI/JULI 2013

DAN-IODP-SEIS togtet løb af stablen i perioden 13. juni til 15. juli 2013 med udgangspunkt i

Aarhus Havn. På togtet deltog repræsentanter fra GEUS, Sveriges Geologiske Undersøgelse (SGU), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet (IG) og Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet. Der var tale om et seismisk 2D multikanal survey (se boks side 13) med henblik på kortlægning af de kvartære lag i Kattegat-området. Hovedområdet er defineret af IODP-borepositionerne BSB-1 og BSB-2, se kort side 12.

De primære instrumenter var airgun og sparkere lydkilder og data blev optaget på en 600 meter lang digital streamer, se billedmøsaik side 15. Dette gav mulighed for at kombinere høj opløsning (stor nøjagtighed og detaljeringsgrad) i de øverste 100 meter af havbunden, med stor nedtrængning til ca. 1 km under havbunden.

Der blev desuden indsamlet supplerende detaljerede akustiske informationer i de øverste lag af havbunden ved hjælp af sedimenttekkolods målinger. Togtet blev udført med skibet Ocean Surveyor, se foto nedenfor.

KATTEGATS UDVIKLINGSHISTORIE IGENNEM DEN SIDSTE GLACIALE CYKLUS

Traditionelt er den præhistoriske klimaudvikling kortlagt ved hjælp af studier af iskerner og dybhavsboringer. I iskernerne er det forholdet

mellem iltisotoperne 16O og 18O, der kan bruges til at fortælle noget om fortidens klima. Forholdet mellem iltisotoperne, der er indlejret i isen, er blevet bevaret siden den sne faldt, som i dag er blevet til is, og var oprindeligt styret af de temperaturer, der herskede på det tidspunkt, sneen faldt. I dybhavsboringerne og tilsvarende i Kattegat-boringerne er det miljø- og klima-relaterede parametre i sedimenterne, der studeres. Således kan ændringer i havets temperatur og saltholdighed erkendes i sedimentet, hvor systematisk prøvetagning ned gennem boringerne og efterfølgende laboratorieanalyser kan afsløre ændringer i sedimentets lagdeling, geokemi, samt indhold af døde mikroorganismer og dermed afsløre klimasvingninger og ændringer i aflejringsmiljøet tilbage i tiden.

Et eksempel på en mikroorganisme, der benyttes meget, er den kalkskallede udgave af de mikroskopiske dyr, foraminifererne, der er interessant. I kalkskallerne er det igen forholdet mellem iltisotoperne 16O og 18O, der studeres. Forholdet fortæller noget om, hvor varmt – eller koldt – det havvand var, som dyrene levede i, og dermed også om det klima, der herskede i dyrets levetid.

En anden og mere simpel parameter er mængden af organisk stof indeholdt i sedimenterne, som målt med en afstand på få mm giver et detaljeret indblik i ændringerne i biologisk aktivitet.

Ud over den detaljerede viden om klima- og miljøændringerne er det meget vigtigt at kunne fastsætte alderen med stor nøjagtighed. Det sker ved hjælp af forskellige dateringsmetoder, hvoraf den mest kendte er kulstof-14-metoden, som er baseret på at kulstof-14 isotopen indgår i organisk stof og kalk, og da kulstof-14 er ustabil (med en halveringstid på 5730 år) forsvinder det med tiden. Så ved at måle indholdet af kulstof-14 i en prøve får man et mål for alderen. Metoden rækker omkring 50.000 år tilbage. Ældre sedimentter skal dateres med andre metoder, måske ved brug af andre ustabile isotoper. Eller termoluminescens-metoden, der bygger på, at sandskorn udsættes for radioaktiv stråling, mens de ligger begravet. Jo længere tid de ligger begravet, jo mere radioaktiv stråling udsættes de for. Noget af energien lagres i sandskornene og kan frigives som et lyssignal, hvis intensitet er et mål for alderen. Metoden er anvendelig op til ca. 500.000 år tilbage i tiden.

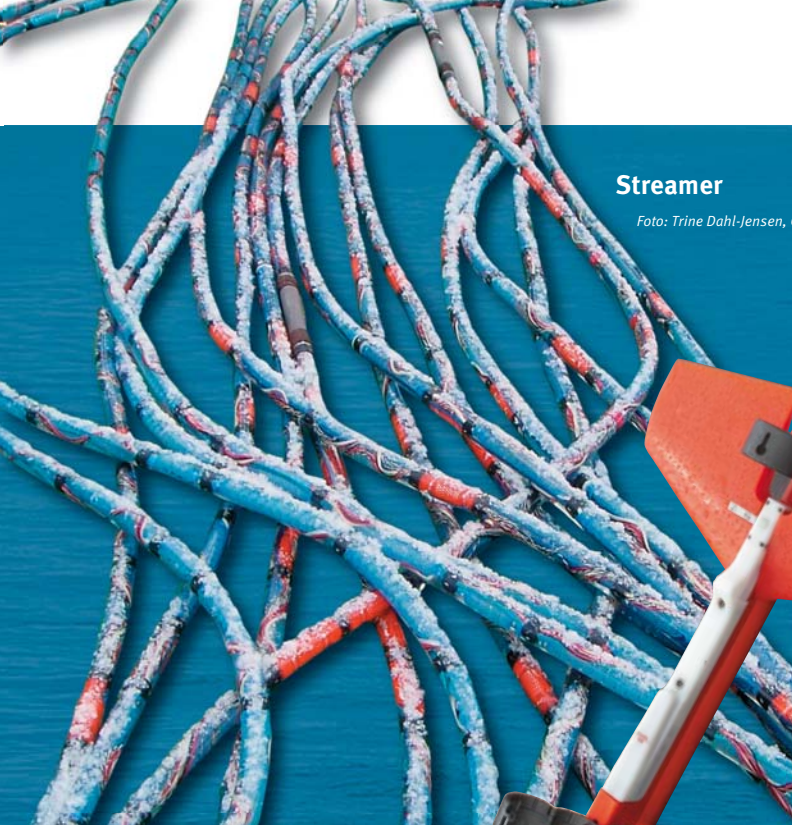


Det svenske undersøgelsesskib Ocean Surveyor blev benyttet på DAN-IODP-SEIS togtet. Skibet er ejet af Sveriges Geologiske Undersøgelse (SGU).

Fotos: Jakob Lautrup, GEUS.

Streamer

Foto: Trine Dahl-Jensen, GEUS.



Tips

Sparker



Sparker

Foto: Carina Bendixen.



Airgun



Tailbuoy

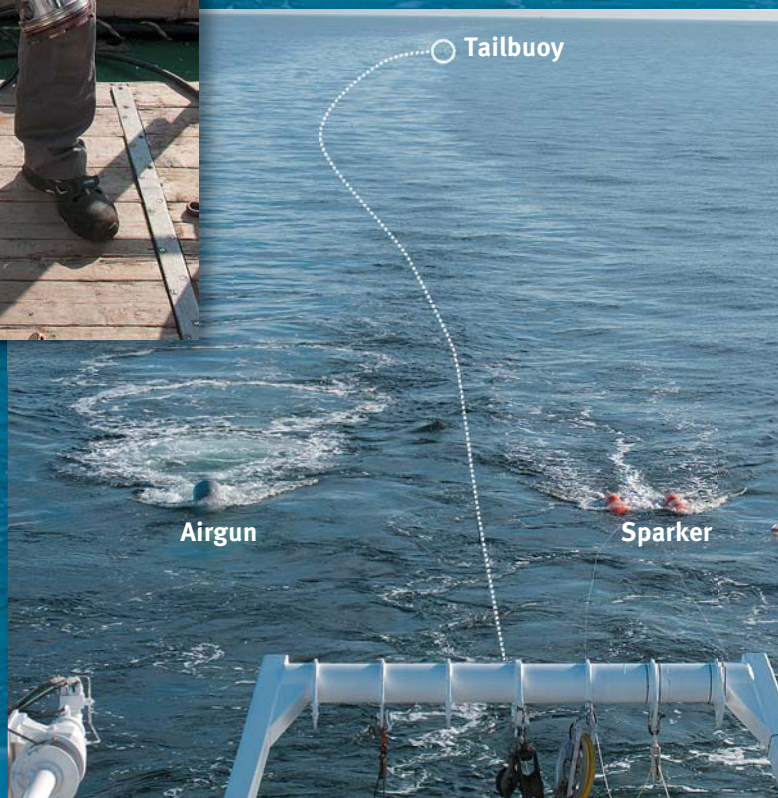
GPS

Lys

Radar reflektor

Billedmosaik der viser DAN-IODP-SEIS indsamlingen af de seismiske data. Det nederste billede viser udsigten fra agterenden af Ocean Surveyor. I Skibets A-ramme trækkes Airgun- og Sparker-lydkilderne i hver deres side, omkring 30 meter efter båden.

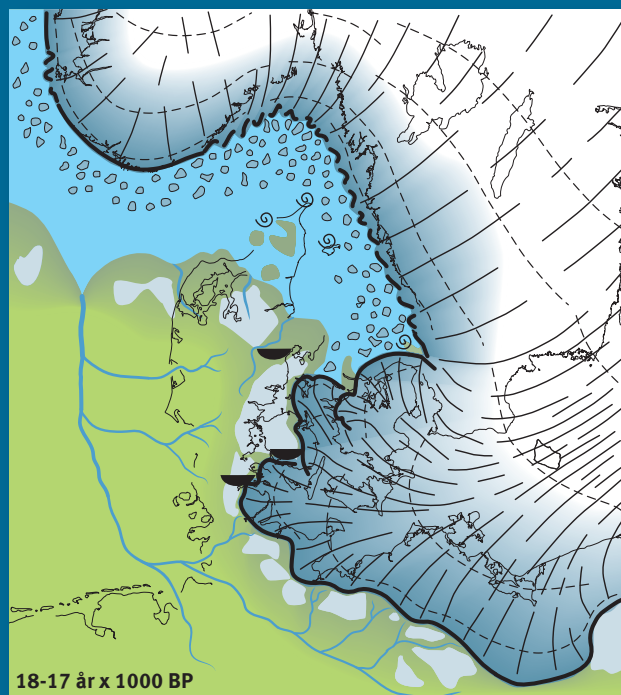
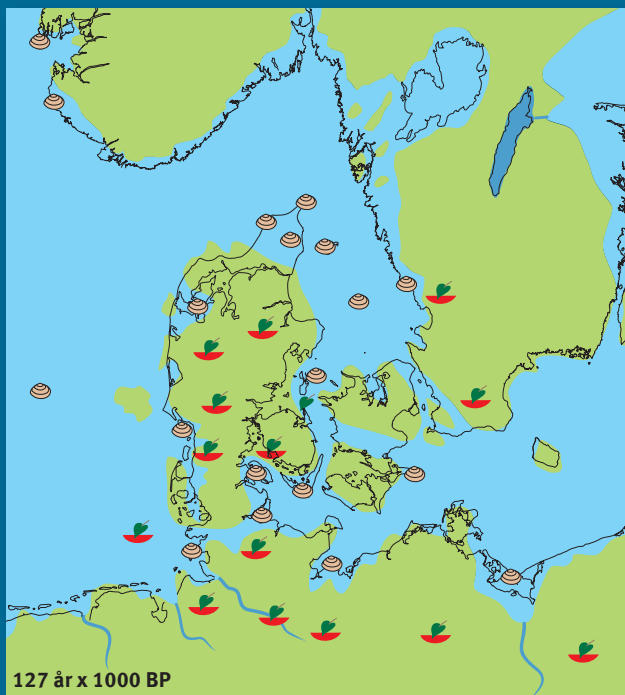
Det 600 meter lange streamer-kabel trækkes centralt, som en slange i vandet, der holdes på plads ca. 2 meter under havoverfladen vha. 6-8 elektronisk styrede 'birds'. For enden af streameren er placeret en tailbuoy, som ud over lys og en radarreflektor, også har påmonteret en GPS, som løbende registrerer positionen. Alle fotos, hvor der ikke er angivet et navn, er taget af Jørn Bo Jensen.



Tailbuoy

Airgun

Sparker



Eksempler på palæo-geografiske kort der viser, hvordan det formodes at den vestlige del af Østersøen så ud under sidste mellemistid, Eem, for 127.000 år siden og da isen smeltede bort fra Kattegat for 22 – 16.000 år siden.

Illustrationer: Annabeth Andersen, GEUS. Tegnet efter Michael Houmark-Nielsen og Kurt Henrik Kjær, Geologisk Museum.

En detaljeret kortlægning af klimaudviklingen via havbundssedimenterne forudsætter at der er bevaret en fuldstændig lagpakke, som ikke er ødelagt af efterfølgende erosion eller forkastninger. De største og mest komplette sedimentpakker findes, hvor der har været store og dybe bassiner, da sedimentationen fandt sted. Østersøen er et eksempel på et af disse sjældne områder, hvor der findes tykke, højopløselige marine sedimentarkiver, som kan vise det Europæiske kontinents klimatiske respons på de oceaniske styrende klimamekanismer.

Østersøens udviklingshistorie igennem den sidste glaciære cyklus (Eem mellemistid og Weichsel istid) er meget kompleks og må forventes at være mest komplet til stede i Kattegat-bassinet, der er lokaliseret i den marginale zone af Weichsel istidens skandinaviske isskjold. Indtil nu har man ikke fundet en komplet lagserie omfattende det sidste interglaciære Eem hav, men Kattegat er en god kandidat for en bedre tidsserie. Og ligeledes er der potentielt størst mulighed for at sedimenterne fra istidens forskellige, glaciære fremstød er bevaret i bassinområderne. I løbet af istiden har der periodevis eksisteret isdæmmede søer, som dækkede store arealer, indtil isen under det glaciære maksimum for ca. 20.000 år siden dækkede hele Østersøområdet. Den endelige tilbagesmeltning fra den

sydlige del af Østersøen i perioden 22–16.000 år før nu var præget af afsmeltning afbrudt af mindre stilstandsperioder. Den fortsatte afsmeltning førte til opdæmningen af den Baltiske Issø foran isfronten. Enorme mængder af issøens smeltevand drænerede ud i Nordatlanten i løbet af Senglacial tid, mellem 16 og 11.500 år før nu. Tidligere maringeologiske studier antyder at dræningen skete både gennem Øresund og gennem den sydlige del af Sverige, men den fysiske identificering af Øresunds-dræningen mangler stadig at blive vist.

Da isskjoldet smeltede tilbage, betød fjernelsen af isens vægt fra jordskorpen at undergrunden blev udsat for kompenserende hævnning og gamle forkastnings-brudzoner blev reaktiveret. Undergrundens blok-opdelte områder langs Kattegats Fennoskandiske Randzone bevægede sig derved op og ned som tangenterne på et klaver. Denne neo-tektoniske aktivitet kan have igangsat en pludselig og katastrofelignende smeltevanddræning, hvis størrelse er anslået til så meget som op til 8.000 km³. Det svarer i runde tal til ca. 63.000 tømninger af alt vandet i Furesøen! Hvilken effekt det kan have haft på Nordatlantens havstrømme og klima er under debat og stadig meget usikker.

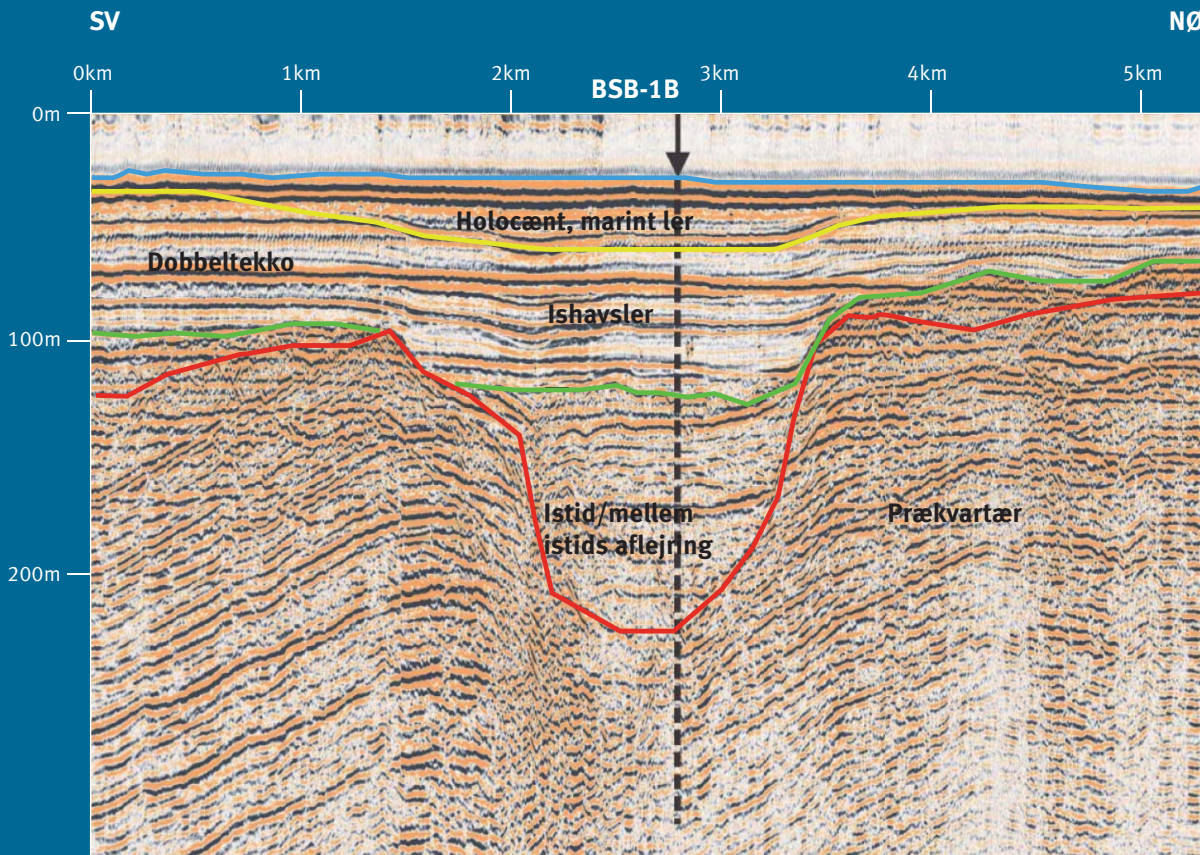
I Kattegat-området blev et lokalt højt havniveau i Sen Weichsel efterfulgt af faldende

vandstand, indtil landhævnningen gradvist blev mindre og dermed overhalet af den globale havstigning. De dybere dele af Kattegat, fx ved IODP borepositionen, se kortet side 12, har været dækket af havet i hele den Holocæne tidsperiode og her er der stor sandsynlighed for at finde en ubrudt sedimentpakke på over 50 meters tykkelse.

NYT LYS PÅ KATTEGATS KVARTÆRE HISTORIE OG SAMMENHÆNGEN MED NORDATLANTEN

Det fremgår tydeligt at der er tale om en meget kompleks udviklingshistorie. Derfor er det også vigtigt at holde sig for øje, at IODP-boringerne er endimensionelle datapunkter, som bør kobles med andre informationer om den fysiske bassinudvikling. DAN-IODP-SEIS projektet ser det derfor som sin opgave at udbrede den detaljerede tolkning af IODP-boringerne BSB-1 og BSB-2 til en general tredimensionel forståelse af Kattegat-bassinets udvikling gennem den sidste glaciære cyklus. Den seismiske tolkning skal sikre den optimale information om udbredelsen af Eem havet og styrke mulighederne for at finde en komplet tidsserie.

Kompleksiteten af Weichsel istidens isfremstød kombineret med tilstedeværelsen af hav og issøer foran det skandinaviske isskjold, gør det



Seismisk linje BeoB06-015 som krydser IODP boreposition BSB-1B. Den foreløbige tolkning af de seismiske data viser at boringen fra havbunden og nedad formodes at komme igennem 37 m marint Holocæn ler, 77 meter varvigt ishavsler og 100 meter delvist deformerede lag fra sidste istid og sidste mellemistid.
Illustration: Jørn Bo Jensen

meget vanskeligt at etablere en troværdig istidsudviklingshistorie og at lave detaljerede klimarelaterede konklusioner. Her vil de seismiske data være til stor hjælp da det er ambitionen at kortlægge istidsaflejringernes arkitektur, samt at afsløre mulige forstyrrelser i jordlagene, som kan være skabt i forbindelse med midlertidige fremrykninger af gletsjerranden.

Den afsluttende dræning af Østersøens smeltevandsmasser er en vigtig del af IODP-boreprojektet, hvor man ønsker at beskrive hændelsen i detaljer med hensyn til hvor, hvornår og hvor meget vand, der drænedes fra den Baltiske Issø. En bedre viden herom skal efterfølgende knyttes til det Nordatlantiske cirkulationssystem, så det kan belyses på hvilken måde, dræningen af issøen influerede på Nordatlantens klima. Kombinationen af boredata og seismiske data vil gøre det muligt at lokalisere hvor og hvornår de episodiske hændelser er foregået samt at give et kvalificeret bud på størrelsesordenen.

Desuden forventes det, at drænings-transportvejene lokaliseres, så som kanaler,

deltaudbygning og sedimentation af bassiner. Specielt vil der være fokus på jordskorpens hævnning (isostasi), som et resultat af iskapens aftagende vægt, hvilket kan have reaktiveret gamle forkastninger langs den Fennoskandiske randzone.

I efteristidens Holocæne periode, der begyndte for omkring 12.000 år siden, er der aflejret mere end 50 meter tykke sedimentlag i de dybere dele af Kattegat. Her må man forvente, at der findes en ubrudt sedimentserie med detaljerede informationer, som vil give en enestående mulighed for at rekonstruere klimavariationer af global betydning i et område, hvor sammenlignelige data ikke kan hentes fra de omkringliggende landområder. Kombinationen af detaljerede sedimentanalyser af borerne og den kommende seismiske tolkning vil gøre det muligt at udbrede de lokale studier til hele Kattegat regionen.

Resultaterne af DAN-IODP-SEIS-projektet vil blive publiceret i videnskabelige tidsskrifter, men det forventes ligeledes, at der kommer stof til adskillige spændende historier til

Geoviden om Eem Havet, afsmeltningen af det skandinaviske iskjold og hvilken indvirkning det har haft på klimaændringerne.

HER KAN DU LÆSE MERE

Geoviden nr. 3, 2011, s. 2–19

Klimaændringer i fortid og nutid

Geoviden nr. 3, 2009, s. 18–19

Enorme mængder kulstof bundet i jorden

Geoviden nr. 3, 2009, s. 2–7

Verdenshavets 'klima-maskine'

Geoviden nr. 3, 2009, s. 8–15

Grønlands Indlandsis og klimaet – hvad sker der?

**B
O
K
S**

Isbjerge kan tårne sig højt op over havoverfladen men rager yderligere 6 til 10 gange længere ned under havoverfladen. Når sådan en kæmpe klods – drevet af strømmen – strander, vil den pløje havbunden op.

Foto: Jacob Lautrup, GEUS.



ISBJERGE FLÅR HAVBUNDEN OP

Havbunden på de sokkelområder, hvor der driver store isbjerge forbi, eller hvor de forekom under istiden, er præget af spor efter isbjerges bundberøring. Faktisk er havbunden på kontinentalsokkelområderne i de arktiske og antarktiske områder næsten overalt, men specielt på dybden mellem 200 og 400 meter, pløjet helt op af isbjerge, hvor der ikke er klippegrund. Isbjergenes skuren er en betydelig risiko for olieinstallationer på havbunden.

Som bekendt er det kun en mindre del, skønsmæssigt 1/8–1/9 af isbjerget, der rager op over havoverfladen. Det meste af isen befinder sig altså under vandlinjen, hvilket forklarer at isbjerge kan gå på grund på ret dybt vand. Det er ikke ualmindeligt at isbjergene har en dybgang på 100–500 meter og en vægt på flere

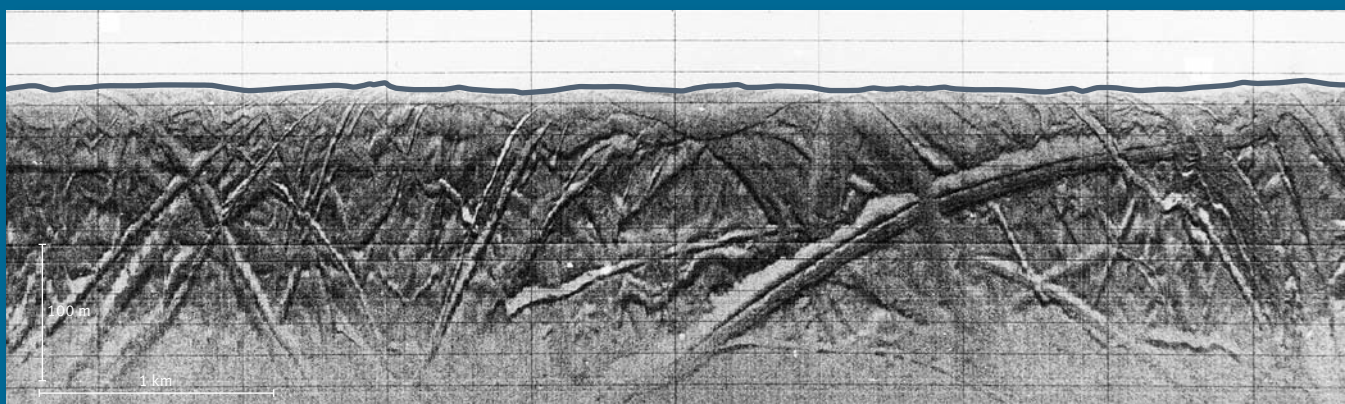
mio. tons. Når de er sat i bevægelse af havstrømmene og i mindre grad vinden er der store kræfter på spil, så når 'kølen' af et isbjerg rammer bunden vil den som en bulldozer pløje en anseelig fure i havbundens sedimenter. Bundmaterialet fra furen skubbes til side og danner ofte meter høje volde på siden af furen. Furerne med volde kan i størrelse minde om et kaotisk vejnet, der skærer sig ned i bundens landskab. Det giver et meget ujævnt, men også karakteristisk terrænmønster på havbunden.

HVOR STORE ER DE?

De dybeste men korte isbjergfurer er op til 15–20 meter dybe og findes som regel i kanten af bankerne, hvor de store isbjerge kommer ind fra dybt vand og hurtigt strander.

Hvis havbunden er rimeligt flad og et stort isbjergs dybgang og størrelse er passende, kan det drevet af havstrømmen kradse en fure, der

er 10 meter dyb og hundrede meter bred, så langt det skal være uden at standse. Det ikke ualmindeligt at finde furer, der er 4–5 km lange, 20–100 meter brede og 4–6 meter dybe. De fleste furer er dog mindre. Nogle steder er furerne næsten retlinede og følger dybdekurverne, men andre steder skifter de retning eller har et buet forløb. Som vist på billedet nedenfor kan havbunden være pløjet helt op af isbjerge. Der kan ikke laves en ny fure uden at ødelægge noget af de ældre. Under en aktiv strøm af isbjerge som fx under den østgrønlandske havstrøm er det skønnet, at havbunden er fuldstændig gennempløjet i løbet af 35 til 250 år. Ved isbjergenes skuring bliver de øverste 5–15 meter af havbunden blandet sammen i et syndigt rod. Andre steder er antallet og tætheden af skuringerne mere moderat, som fx i bunden af dybe lavninger på sokkelområderne, der er beskyttet af mere lavvandede banker og såle-

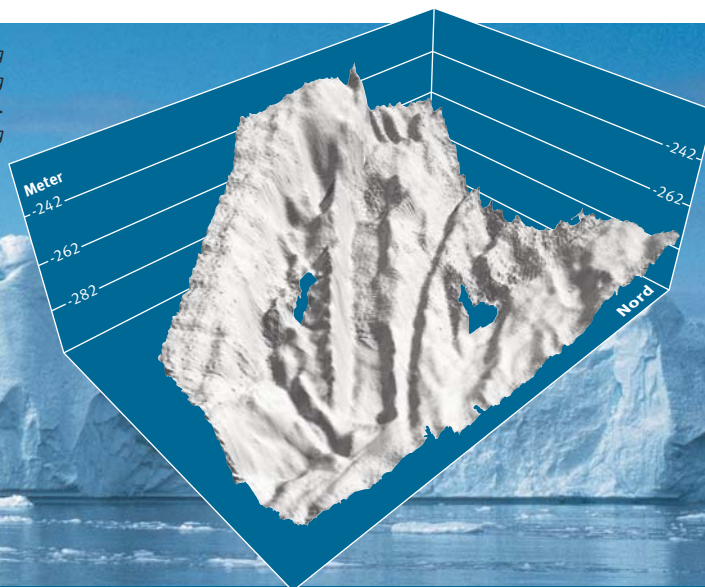


Lydbillede (side scan) af havbunden på en 225 m dyb banke på soklen udfor Tasiilaq (Ammassalik) på Grønlands østkyst. Bunden er tæt gennempløjet af furer kradset af isbjerge som altså har været på ca. 250 m fra top til køl. Den mest markante fure er vel ca. 25 m bred og få m dyb og kan følges over 3 km. Det passer med isbjerge sendt sydover af den kolde østgrønlandske havstrøm. NB! Billedet er ikke et snit ned gennem havbunden, men kan tilnærmelsesvist opfattes som et foto af havbunden, taget oppefra.

Foto: Birger Larsen GEUS.

Blokdiagram over en undersøisk skråning hvor isbjerge tit pløjer sig ind i skrænten og strander. Det går hårdt ud over bunddyrene. Baseret på lydbilleder af havbunden og ubådsobservationer ud for Antarktis.

Illustration: Constanze Hohmann AWI, Bremerhaven.



BIRGER LARSEN

.....
Adjungeret seniorforsker, GEUS
bil@geus.dk

des ligger i læ for større, dybtgående isbjerge. Furerne går på kryds og tværs – men dog ofte mest i retning af den dominerende havstrøm.

GLETSJERSPOR PÅ HAVBUNDEN

I bunden af de undersøiske dale i kontinentalsoklen, ud for isdækkernes store udløb, kan man undertiden se brede bånd af rygge og furer, der parallelt følger dalens sider. Det ser ud til at disse bånd er udformet af sålen af en istunge, der er gledet hen over havbundens sedimenter. Et smukt eksempel kan iagttages på bunden af Skagerrak Rende.

SPOR EFTER FORTIDENS ISPLØJNINGER

Det er svært at vide hvor gamle furerne er. Nogle er så nye og friske at havbundens dyreliv endnu ikke er kommet sig efter at isbjerget flåede sedimenterne op. Andre – særligt de store furer – kan bevares i tusinder af år, før de er fyldt op, hvis forholdene er til det.

Man har fundet udstrakte felter af mere eller mindre dækkede furer fx på halvdelen af Norges kontinentalsokkel, på vanddybder større end 100 meter. Også stedvist i Nord-søen på kanten af den dybe Skagerrak Rende, dvs. på steder, hvor der ikke kommer isbjerge forbi under de nuværende forhold. Furerne giver altså oplysninger om isbjergenes udbredelse og bevægelse under istiden for mere end 12.000 år siden og indirekte om havstrømmenes retning den gang.

Maringeologerne har i løbet af de seneste år fundet spor efter isbjerges pløjefurer helt ned til 900 meters dybde i bl.a. Danmark Stræde, ved Færøerne og i Fram Stræde nord for

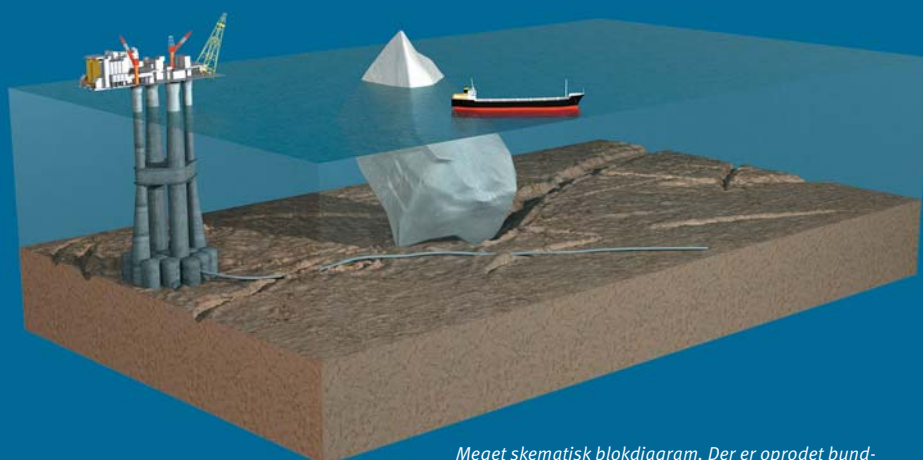
Svalbard. Det er vanskeligt at forestille sig, hvordan disse gigantiske isbjerge er dannet. En del af forklaringen er, at vandstanden i verdenshavene var mere end 100 meter lavere under istiden end i dag – og så er der ikke så langt til de 600 meter 'høje' isbjerge fra Scoresby Sund – hvis de ellers blev dannet dengang. Det er foreslået, at det er isbjerge, der vælter rundt, som er ansvarlige for disse meget dybe kradsespor.

ISPLØJNING PRAKTISK SET

Når man udvinder olie fra havbunden er det vigtigt at man kan 'katastrofe-lukke' borehullet, hvis uheldet er ude – jævnfør oliekatstrofen i den Mexicanske Golf i april 2010. Forekomsten af isbjergenes plovfurer på havbunden er en

god påmindelse om at oliehaner, pipelines og andre installationer på havbunden let kan blive bulldozet op eller kappet af, hvis et isbjerg af passende størrelse kommer forbi. Så en kortlægning af ispløjemærker er en vigtig del af forundersøgelserne forud for olieboringer på fx Grønlands søterritorium.

Det delvist dækkede ispløjningslandskab ud for Norge kan også give tekniske problemer. Solide lag, der måske tidligere har båret isdækkets vægt, er blevet rippet op og furene er efterfølgende fyldt med sand eller blødt mudder. Derfor er terrænet under dæklaget ujævnt og jordbundsforholdene uforudsigelige. Det er jo ikke heldigt, hvis en stor boreplatforms ene ben synker ned i det ret bløde fyldmateriale i en gammel ispløjet fure, man ikke har opdaget. 🌐



Meget skematisk blokdiagram. Der er oprodet bundmateriale i de opskudte volde foran isbjerget og langs siderne af furerne. Isbjerg-pløjning er vigtig både for funderingen af off-shore boreplatforme og sikkerheden af oliehaner og pipelines i indvindingsfasen.

Illustration: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.
Omtegnet efter Reidar Lien, Norge.



Boreskibet Greatship Manisha med boreriggen monteret. Skibet er 94 meter langt.

Foto: ©GeoQuip Marine.

GEOCENTER DANMARK

GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Geologisk Museum (Statens Naturhistoriske Museum) begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

UDGIVER

Geocenter Danmark.

REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Annette Thy, tlf.: 38 14 29 31, e-mail: athy@geus.dk og på www.geocenter.dk, hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

ISSN 1604-6935 (papir)

ISSN 1604-8172 (elektronisk)



Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidefoto: Ocean Surveyor i Kattegat.

Foto: Jørn Bo Jensen, GEUS.

Reprografisk arbejde: Benny Schark, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

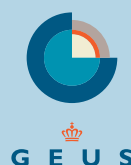
DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 38 14 20 00

E-mail: geus@geus.dk



INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG NATURFORVALTNING (IGN)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 35 32 25 00

E-mail: sl@life.ku.dk

GEOLOGISK MUSEUM (SNM)

Øster Voldgade 5-7

1350 København K

Tlf: 35 32 23 45

E-mail: rcp@snm.ku.dk



INSTITUT FOR GEOSCIENCE

Aarhus Universitet

Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670

8000 Århus C

Tlf: 89 42 94 00

E-mail: geologi@au.dk

