

Katrine finder hemmeligheder på havbunden

Ukendte stenalderbosættelser, skibsvrag og geologiske strukturer i undergrunden. Professor i Geoscience Katrine Juul Andresen gør os klogere på, hvad der gemmer sig i dybet.

■ Af Jeppe Kyhne Knudsen, Aktuel Naturvidenskab



KATRINE JUUL ANDRESEN

Professor i Geoscience på Aarhus Universitet, hvor hun leder en gruppe der er specialiseret i seismiske undersøgelser af undergrunden – især under havet. Som hun selv siger, hænger hendes karriere tæt sammen med forskningsskibet Aurora, som blev indviet i 2014. Fra første færd har hun på skibet udviklet nye metoder til at undersøge havbunden for at finde tegn på bopladser fra stenalderen, skibsvrag fra verdenskrigene og hjælpe vindmølleindustrien med informationer, så de kan beregne hvor meget stål, de skal bruge i de fundamenter, havvindmøllerne skal stå på. Hun har en hest, hun elsker science fiction og krimier, går til gymnastik og ejer to katte samt en trompet.

katrine.andresen@geo.au.dk

Morgensolen står lavt ind på dækket af forskningsskibet Aurora. På skibet, oppe og nede, inde og ude, suser Katrine Juul Andresen rundt. Hun er ved at tjekke, at alt udstyret til dagens feltarbejde i Aarhusbugten er om bord. Om lidt stævner Aarhus Universitets forskningsskib ud, og minutterne på skibet er dyre: 40.000 kroner per døgn, så det er med at udnytte tiden effektivt.

45-årige Katrine Juul Andresen har sit lyse hår sat op i en fletning, er iført grønne vandrebukser og en sweatshirt fra en tidligere ekspedition. Praktisk tøj, der gerne må blive beskidt. Som gerne må slides. Hun går hjemmavant rundt på skibet. Gennem årene har hun været på mange ekspeditioner, overnattet på skibet i dagevis, kæmpet mod søsygen i høj søgang i Nordsøen og nydt solen og et blikstille hav i Aarhusbugten.

Denne morgen blæser en kraftig vind fra syd-øst, og de store bølger får skibet til krænge fra side til side, så snart vi forlader havnens beskyttende moler. Egentlig var planen, at skibet skulle et godt stykke ud i Kattegat, men Katrine og besætningen bliver enige om, at bølgerne vil gøre arbejdet for besværligt. I stedet sejler vi mod Kaløvig.

Katrine skal sammen med et par kolleger fra Institut for Geoscience og fra Institut for Biologi teste, hvor meget det larmer, når de laver seismiske undersøgelser af havbunden. Dokumentationskravene for at få tilladelse til at lave seismiske undersøgelser er stigende, fordi myndighederne i stigende grad er bekymrede for, hvor meget det forstyrrer dyrelivet i havet.

»Jeg bruger mange timer hvert år på at få tilla-

delse til studentertogter og mine forskellige forskningsprojekter – og kravene stiger hele tiden. Vi ved en del om vores udstyr allerede, men vil gerne have nye og flere målinger på, hvor meget vi egentlig larmer«, siger hun.

Foruden sin forskning sejler Katrine hvert efterår ud med studerende fra geoscience, hvor de får lov til at prøve kræfter med at foretage målinger og indsamle data, mens de er på et skib. Et tilbud hun ikke selv fik som studerende.

»Da jeg studerede, var det ikke en mulighed. Jeg er glad for, at vi kan give de studerende den læring og erfaring, da det giver en bedre forståelse af data, hvis man selv har prøvet at indsamle det. Men det kræver selvfølgelig, at vi har tilladelserne på plads. Hvis jeg kan spare tid på ansøgningerne med bedre målinger, så vil det være fantastisk«, siger hun.

Mikrofoner under vandet

For at teste hvor meget de seismiske undersøgelser larmer, sætter Katrine og hendes kolleger fra biologi en række undervandsmikrofoner i vandet. Mikrofonerne – også kaldet hydrofoner – bliver hejst op i en lille kran og sænket i vandet med præcise mellemrum.

Katrine noterer GPS-lokationen for hydrofonerne samt vanddybden på en blok papir, mens hun holder øje med skærme, der viser vanddybden og strukturen af havbunden. Når hydrofonerne er sat i vandet – en 100 meter væk fra nulpunktet, en 200 meter og så videre op til 3200 meter – sejler skibet tilbage til nulpunktet, hvor der skal tændes for det seismiske apparat.

Apparatet er en såkaldt luftkanon, der kan



Luftkanonen og tilhørende luftslanger sættes i vandet. Foto: Andrea Lif, AU Foto



Katrine måler lydhastigheden gennem vandet som bruges i efterbehandlingen af data fra hydrofonerne. Foto: Andrea Lif, AU Foto



En hydrofon til måling af støjen hænger under nogle netflåd. En lille kran sænker det hele ned i vandet. Foto: Andrea Lif, AU Foto

Air-gun'en eller luftkanonen er en metalcylinder med en række luftslanger koblet på. Den sidder under en stor gul bøje, som skal trækkes efter skibet. En kran sænker bøjen ned i vandet.

Fotos: Andrea Lif, AU Foto



sammenlignes med en gigantisk trykluftpistol, der kan sende trykbølger flere kilometer ned i havbunden og på den måde kortlægge, hvad der gemmer sig dernede. På dækket af skibet står en lang, blå container. Den indeholder to store kompressorer, som suger luft ind og presser det sammen, klar til at luftkanonen kan sende trykbølger afsted. Ved at måle på de bølger, der kommer retur, kan Katrine og kollegerne altså kortlægge havbunden flere kilometer ned.

Spørgsmålet er bare, hvor meget det egentlig larmer.

Opvokset langt fra hav og blæst

Omtrent hver fjerde time snupper Katrine Juul Andresen en halv søsygetablet. Selvom hun bruger mange dage om året på havet, får hun stadig ofte kvalme, når hun sejler. Også skibets faste mandskab kæmper af og til med søsyge, fortæller de.

Katrine er ikke vokset op ved havet. Hun har ikke fået blæsten, bølgerne og skumsprøjtet

ind med modernælken. Hendes barndoms landskab ligger vest for Silkeborg i Funder Ådal. Et bakket område fyldt med skov og hede. Et område hun elskede at gå på opdagelse i.

»Når jeg kedede mig, gik jeg tur i skoven. Jeg kan huske, at jeg legede en leg, hvor jeg fortsatte i én retning, indtil jeg fandt et sted, jeg kendte, så vendte jeg om. Det udviklede sig nogle gange til temmelig lange vandreture. Så allerede dengang kunne jeg godt lide at udforske og gå på opdagelse i det ukendte«, siger hun.

Naturen spillede en stor rolle i Katrines opvækst. Hun var spejder og brugte mange timer udendørs, og hun var da heller ikke i tvivl om, at hun ville studere naturen, når hun blev voksen.

»Jeg elsker at komme ud. Mine børn er blevet slæbt med til mange geologiske seværdigheder gennem årene. Jeg er enormt nysgerrig på, hvordan tingene ser ud, og hvordan de er kommet til at se sådan ud.«

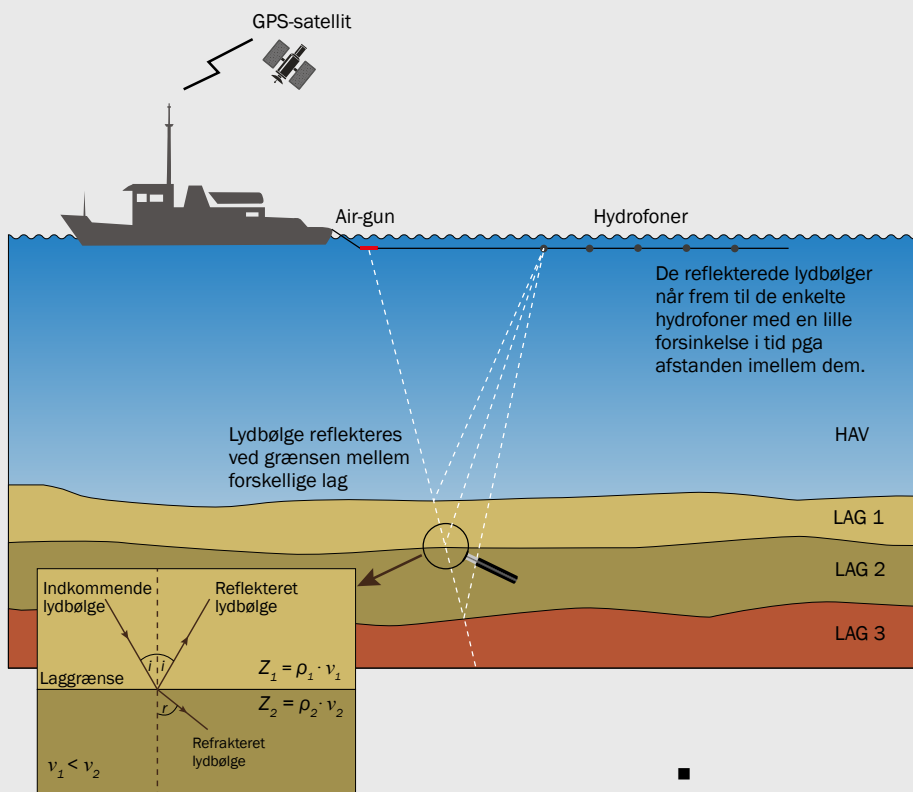
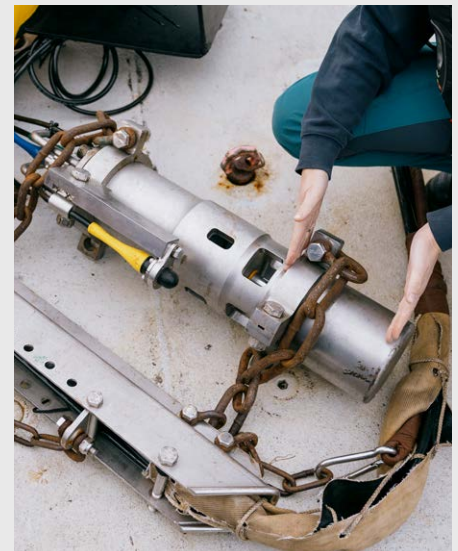
Da hun efter gymnasiet skulle vælge vej i livet, troede hun, at det var matematik-fysik, hun skulle læse. Men til et uddannelsesarrangement på universitetet satte hun sig ind i et auditorium og hørte en professor fortælle om geologistudiet – og fra da af var hun solgt:

»Da vidste jeg, at det var det, jeg skulle.«

På dybt vand

Efter nogle år på geologistudiet fik Katrine mulighed for at skrive en ph.d. Selvom hun havde været glad for at gå på gymnasiet og fået fine karakterer, havde hun nu virkelig fundet hjem. Hun klarede sine eksaminer flot, og så var det naturligt at fortsætte med en ph.d.

»Det var egentlig først på ph.d.'en, jeg udelukkende begyndte at beskæftige mig med havet. Projektet handlede om at blive klogere på, hvorfor noget olie og gas bliver fanget i oliefelterne, mens andet siver op. Processen kalder vi for migration, og når det sker, opstår der bestemte geologiske strukturer.



Nærbillede af air-gun'en. Foto: Andrea Lif, AU Foto

SÅDAN FUNGERER SEISMISK KORTLÆGNING AF HAVBUNDEN

Når Katrine undersøger havbunden, bruger hun ofte en luftkanon (airgun). Kanonen består af to kamre fyldt med luft under meget højt tryk (100-120 bar). Når hun fyrer kanonen af, danner den en trykboble i vandet. Når det sker, lyder et højt dunk; det er den lav-frekvente lydbølge, som bevæger sig i alle retninger.

Lydbølgen rejser gennem vandet med en hastighed på omkring 1500 m/s. På den måde kan Katrine omregne tiden, det har taget lydbølgen at rejse ned på havbunden og tilbage igen til hydrofonerne ved skibet, til den dybde, den har nået.

Der er dog stor forskel på, hvordan lyden opfører sig i vandet og i materialerne på havbunden og i undergrunden. Jo hårdere materialet i havbunden er, desto flere lydbølger reflekteres tilbage. Det afhænger af kontrasten i den akustiske impedans (Z) mellem vandet og havbunden, og den beskrives med denne formel:

$$Z = \rho \cdot v$$

Hvor ρ (rho) er materialets densitet og v er lydhastigheden i materialet.

Katrine kan kortlægge de forskellige lag i havbunden ved at be-

regne reflektionskoefficienten (R). Jo højere en koefficient, desto flere bølger sendes tilbage mod skibet. Den udregnes med denne formel:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

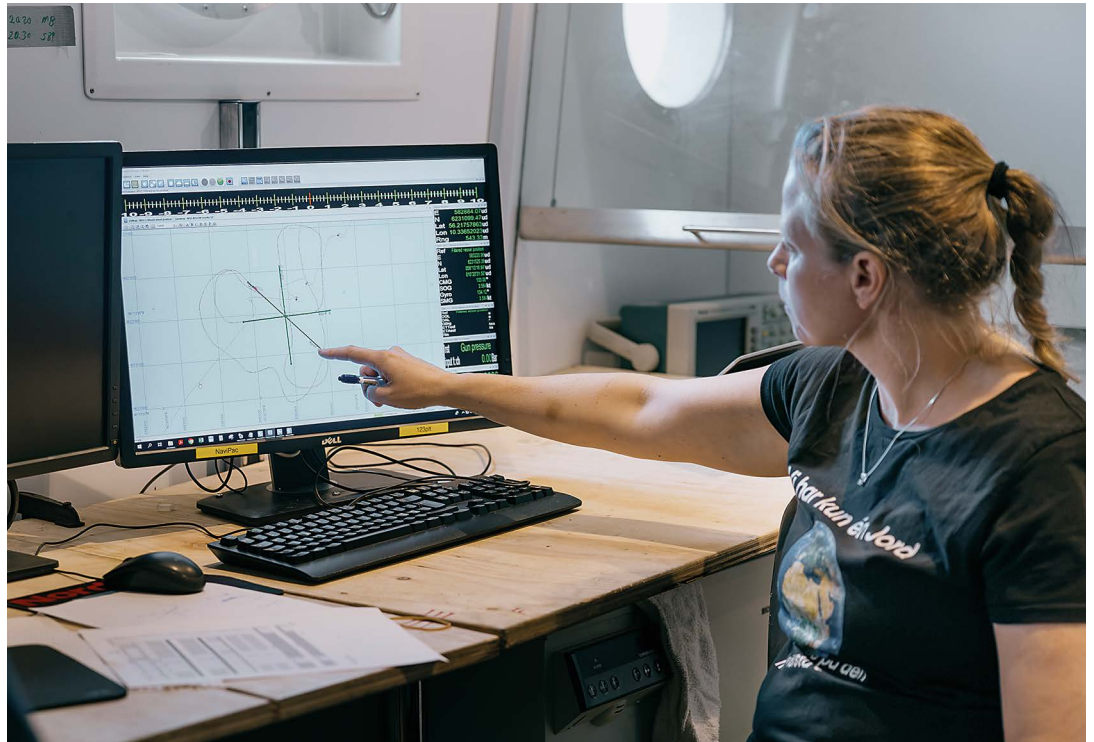
Hvor Z_1 er den akustiske impedans i det øverste lag og Z_2 i laget under.

Når lydbølgen rejser gennem lagene i havbunden, ændrer den form og karakter. Det kalder man også nogle gange for dens "signatur". Det seismiske datasæt viser det samlede ekkomønster gennem hele undergrunden – et seismogram eller en seismisk profil. Ud fra den seismiske profil, kan Katrine kan finde ud af, hvordan geologien i undergrunden ser ud. Det gør hun blandt andet ved at kortlægge de refleksioner, som opstår ved laggrænser, hvor der er akustisk impedanskontrast.

Hvis der er behov for specifik viden om de fysiske egenskaber af jordlagene, bruger Katrine en metode, som hedder seismisk inversion. Her kan man fra det seismiske signal udtrække forskellige former for information om jordlagene – eksempelvis akustisk impedans, porøsitet og densitet.

Katrine viser tre nøje fastlagte ruter, som skibet skal sejle ad. En rute, der ligger vinkelret på linjen af hydrofoner, og to ruter, der er forskudt henholdsvis 45 grader i den ene og den anden retning.

Foto: Andrea Lif, AU Foto



Olieindustrien ville gerne blive klogere på disse strukturer og smed derfor penge efter forskningen,« fortæller hun.

Ved hjælp af seismisk data fra olieindustrien, kortlagde Katrine strukturer og processer omkring olieforekomsterne. Data fra dybt under havet ude i Nordsøen – ofte mere end to kilometer nede. Og industrien var glade for hendes arbejde. Da ph.d.'en var afleveret, var der ikke en stilling ledig på universitetet, men det var der hos Mærsk Olie.

»Jeg fik job som konsulent for Mærsk. I et halvt år arbejdede jeg for dem, mens jeg arbejdede på at få finansiering på plads til en postdoc-stilling på universitetet. I mellemtiden søgte jeg også job i havvindindustrien, og jeg var tæt på at lande et job. Havde jeg fået det, var jeg nok ikke endt, hvor jeg er i dag. Jeg er glad rigtig for, at jeg endte på universitetet.»

På sporet af stenaldermenneskerne

Tilbage på universitetet begyndte Katrine at interessere sig for det landskab, der ligger tættere på overfladen. Her fandt hun nemlig spor af et landskab, hvor der engang levede mennesker.

»I geologisk forstand skete stenalderen jo blot for et øjeblik siden. Her arbejder vi ofte i millioner af år. Men jeg fandt ud af, at de informationer, jeg kan grave frem fra havbunden, kan hjælpe arkæologerne, for hvem stenalderen er den fjerneste fortid.«

Helt konkret begyndte Katrine at rette sine seismiske undersøgelser af Nordsøen mod de øverste lag af havbunden. Ved at lave undersøgelser med mere højfrekvente lydbølger fra forskellige apparater, kan hun lave en 3D-model. Ud fra den model træder et landskab fra fortiden frem nogle meter under havbunden.

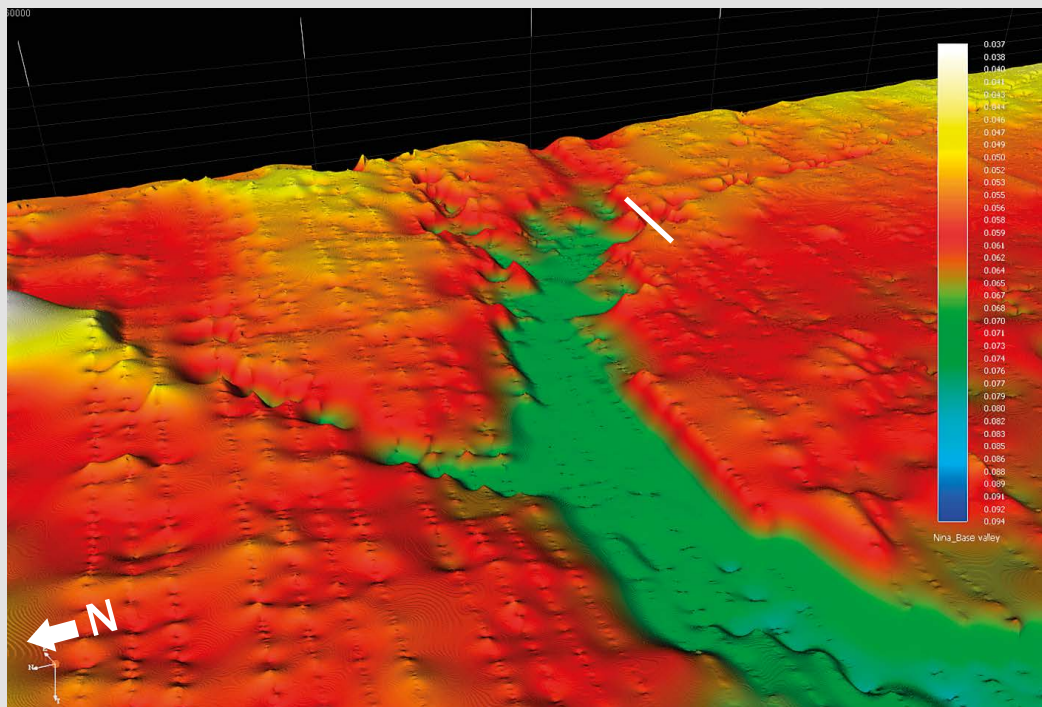
»Formålet med det projekt, Subnordica, som jeg er leder af nu, er at udvikle en metode til at finde oversvømmede stenalderbopladser på dybt vand. Det er relativt nemt at finde dem på 5-6 meters vand, men længere ude i Nordsøen, hvor havbunden er 30-50 meter nede, er det meget vanskeligere. Vi drømmer om, at metoden bliver så god, at vi kan sejle ud, tage prøver fra havbunden og finde forarbejdede genstande fra stenalderen, som eksempelvis forarbejdet flint. Lige nu er det som at lede efter en nål i en høstak – bortset fra, at vi endnu ikke ved, hvor høstakken er.«

Sammen med arkæologer arbejder hun på en metode, de kalder for prædiktiv modellering. Ved hjælp af masser af geologiske data fra havbunden, arkæologisk viden om stenaldermenneskene og kunstig intelligens, giver modellen en række bud på, hvor i Nordsøen det er mest sandsynligt at finde spor efter stenalderens mennesker.

»Vi har fodret modellen med arkæologernes viden om de stenalderssamfund, vi allerede kender i dag. Hvor tæt de boede på floder og moser, som vi genkender som tørvelag i sedimenterne. Og hvor de typisk bosatte sig i landskabet. Sammenkørt med geofysisk kortlægning af det nu oversvømmede palæo-landskab, kommer modellen så med nogle bud på, hvor det kunne være. Den virker faktisk allerede nogle steder i Nordsøen nu, men udfordringen er at få den til at virke på endnu dybere vand,« forklarer Katrine.

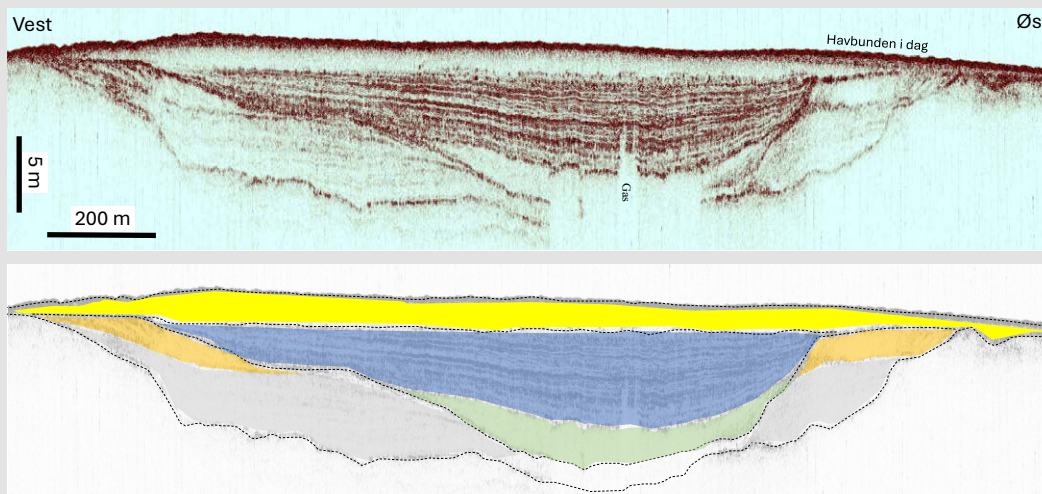
Har startet sit eget forskningsfelt

For blot få år siden var det nærmest utænkeligt at finde bopladser fra stenalderen under havet i Nordsøen. Takket være Katrine er der opstået et helt nyt forskningsfelt i Danmark. Et felt med det mundrette navn marin geoarkæologi. Hun er pioner på områ-



3D model af et gammelt flodsystem (estuarie), der engang eksisterede i Doggerland. Estuariet ligger i dag begravet 0-10 meter under den nuværende havbund. Modellen er lavet ud fra seismiske profiler indsamlet i den danske del af Nordsøen. Sammen med resten af Doggerland blev estuariet oversvømmet for omkring 10.000 år siden, da havspejlet steg. Den hvide streg viser placeringen af det seismiske profil vist nedenfor.

Illustration: Katrine Juul Andresen.



Seismisk profil der viser det gamle flodsystem i Doggerland. Øverst ses profilet uden fortolkninger. Nederst er indtegnet fortolkninger, hvorfra man kan se at flodsystemet blev fyldt op i forskellige trin (de forskellige farver). Ud fra disse trin kan geologerne sige noget om hvor hurtigt havspejlet steg og hvordan floden ændrede sig fra at være en flod med hurtigt strømmende vand langt væk fra kysten, til en flod tæt ved kysten hvor havvandet var begyndt at trænge ind (et estuarie).

Illustration: Katrine Juul Andresen.

DOGGERLAND

De fleste har nok hørt om Doggerbanke i vejrudsigten. Banken er en stor, lavvandet sandbanke, der ligger midt i Nordsøen mellem Danmark og England. Nogle steder er der kun 13 meter dybt, selvom vi midt på havet. Doggerbanke var den højest beliggende del af et område, der forbandt Danmark og England under sidste istid (Weichsel), som vi kalder for Doggerland. Idet enormt meget havvand var bundet op i iskapen mod nord, var havniveauet 120 meter lavere end i dag. Det betyder, at man kunne gå tørskoet fra Danmark til England.

Landskabet var meget varieret med floder, indsøer, moser og åbne skov- og steppeområder – ideelt for mange af de dyr, som stenalderens jægere var på jagt efter. Der er fundet spor efter mammutter, kronhjorte, urokser og sabelkatte. For omkring 12.000 år siden sluttede istiden, og iskapen begyndte at smelte. Det førte til en hurtig stigning i havniveauet, og Doggerland blev i løbet af de næste tusinder af år gradvist oversvømmet. De sidste rester af Doggerland forsvandt under bølgerne for omkring 6000 år siden.

det herhjemme og en af de førende i verden.

»Ud over mine samarbejdspartnere fra landene omkring Nordsøen og Østersøen, er der få andre steder i verden, hvor marin geoarkæologi også er en bredt anvendt metode. I Israel bruges den til at studere ruiner fra romerriget i Middelhavet, og der findes også forskningsgrupper i USA og i Australien, der fokuserer på marin geoarkæologi. Men det er en ny disciplin, som der er meget fokus på i disse år. Jeg håber, at mit aftryk, når jeg engang går på pension, bliver at have været med til at starte dette forskningsfelt i Danmark,« fortæller Katrine.

De nye metoder har allerede ført til en række opdagelser i Nordsøen, men vi er kun i den spæde begyndelse, fortæller hun.

»Der ligger et kæmpe område, vi kan undersøge i Nordsøen. Doggerland hedder det. Indtil for omkring 10.000 år siden var Danmark og England landfaste, for havniveauet var meget lavere end i dag. Vi regner med, at der var en del mennesker, rensdyrjægere, i området, og det er spor efter dem, vi leder efter under havbunden.«

Som at være midt i et søslag

Alle hydrofonerne er blevet placeret i vandet med præcise mellemrum, og Katrine og kollegerne er nu klar til at lave målingerne. Katrine trækker i redningsvest, sikkerhedssko og hjelm og går ud på dækket.

Sammen med kollegerne rigger hun luftkanonen til. Den ser ikke ud af meget. En metalcylinder med en række luftslanger koblet på. Cylinderen sidder bundet godt fast til en stor gul bøjle, som skal trækkes efter skibet. Bøjen ligner en stor udgave af den torpedobøjle, som David Hasselhoff altid løb med i hånden, når han skulle redde folk i Baywatch.

Udstyret bliver løftet op med kranen og sat i vandet. Bøjen og kanonen trækkes godt ti meter bag skibet, da det første drøn lyder. Lyden er dyb og hul. Som når en kanonkugle bliver fyret af i en Hollywood-film.

Skibet sejler nu frem og tilbage ad tre nøje, fastlagte ruter. En rute der ligger vinkelret på linjen af hydrofoner og to ruter der er forskudt henholdsvis 45 grader i den ene og den anden retning.

»Ved at sejle rundt i disse fastlagte ruter, tester vi, hvordan støjen fra luftkanonen spredte sig fra forskellige udgangspunkter. Det giver os et meget bedre billede af, hvor meget vi egentlig støjer i området,« forklarer Katrine.

»Skal vi forstå nutiden, må vi forstå fortiden«

Solen er på vej ned, da den sidste hydrofon er hevet om bord igen, og skibet har sat kursen mod Aarhus. Flere af forskerne er samlet i messen, hvor der deles kiks ud og drikkes Ribena-saftvand.

Katrine kommer ind og sætter sig. Det har været en lang dag, næsten 13 timer til søs, men hun ser ikke specielt træt ud. Hun er vant til værre.

Hun reflekterer et øjeblik over, hvorfor hun laver den forskning, hun gør. Hvad formålet egentlig er med at bruge tid og penge på at undersøge en havbund og et landskab, som for længst er forsvundet:

»Skal vi forstå nutiden, må vi først forstå fortiden. De geologiske processer, der er på spil i dag, er de samme som dengang for tusinder eller for millioner af år siden. Vi kan derfor bruge de geologiske arkiver til at studere processer og landskabets respons på noget, som er aktuelt i dag. Vi ser ind i havniveauustigninger i fremtiden, og der er et stort behov for at forstå, hvordan vores kyster vil udvikle sig i takt med, at havet stiger. Ved at studere, hvordan Doggerland blev oversvømmet, kan vi få ny og brugbar viden om de geologiske processer.«

Skibet er i havn. Katrine og kollegerne bærer udstyr over landgangsbroen og over i en af universitetets biler. Klokker nærmer sig otte om aftenen. De nye højhuse på havnen lyser op højt over os. Dokk1 står mørklagt hen.

Snart sætter Katrine sig ind i sin bil og kører mod det lille landsted, hun bor på. Det er nok for sent at ride en tur på hesten, men hun har muligvis tid til at kaste sig over en krimi eller en god film, siger hun og smiler. Der er trods alt et liv udenfor universitetet – også selvom man er professor og lægger mange timer på havet. ■

VIDERE LÆSNING

Andresen, K.J. (2012): Fluid flow features in hydrocarbon plumbing systems: What do they tell us about the basin evolution? *Marine Geology*, Vol. 332–334.

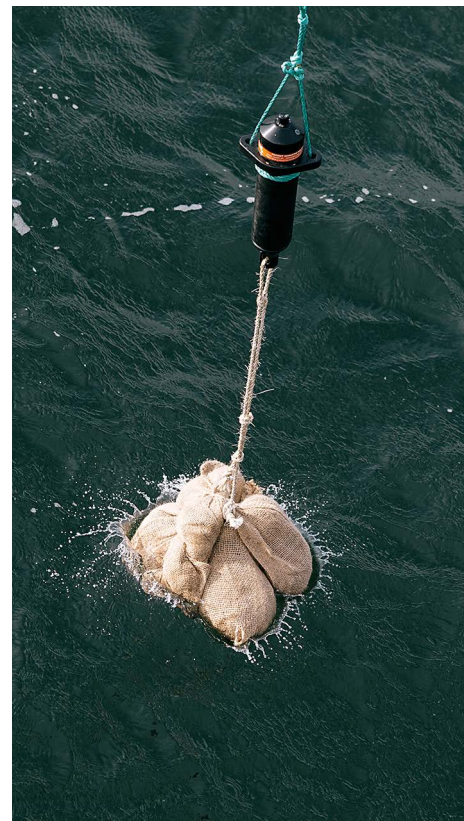
Andresen, K.J., Hepp, D.J., Keil, H. & Spiess, V. (2022): Seismic morphologies of submerged late glacial to Early Holocene landscapes at the eastern Dogger Bank, central North Sea Basin – implications for geo-archaeological potential. *Geo. Soc. London Spec. Publ.*, 525(1):SP525-2021-155.

Andresen, K.J. et al (2025): Palaeo-landscape reconstruction of a shallow coastal embayment in Kattegat, Denmark—influence of sea-level changes during the latest Pleistocene and Holocene. *Boreas*, 55: 560-584.

Schuster, R.M. et al (2026): Environmental risks from world war shipwrecks: Field-based biomarker evidence from caged mussels in the North Sea. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 229..



Det er godt at kunne forskellige knob og stik til sikring af udstyr. Foto: Andrea Lif, AU Foto



En hydrofon sænkes ned. Foto: Andrea Lif, AU Foto

Når død giver liv



Dansk Center
for Organdonation

Biologi og bioteknologi

iBogen *Når død giver liv* kobler faglig viden med konkrete opgaver og personlige fortællinger om organdonation.

Brug organdonation som indgang til bl.a.:

- **ABO-blodtypesystemet og immunsystemet**
- **Blodtypetest og ELISA-test**
- **Konstatering af døden og transplantation**
- **Fagligt samspil i store opgaver**



Alle skoler og elever har fri adgang
Scan her og se materialet i biologi og bioteknologi

