

# Kulstofkredsløbet fra nord til syd langs Galatheas rute



Projektleder Katherine Richardson.  
Foto: Ukendt

*Af projektleder, professor, ph.d. Katherine Richardson, Aarhus Universitet (pr. 1. februar 2007, Københavns Universitet)*

## **Gennemgående projekt**

Deltagende Institutioner og VIP-medarbejdere:

*Aarhus Universitet: Jens Tang Christensen, Peter Grønknjær, Marianne Glasius, Lone Thybo Mouritsen*

*Danmarks Miljøundersøgelser: Torkel Gissel Nielsen, Jørgen Bendtsen, Karen Marie Hilligsøe*

*Risø: Lise-Lotte Sørensen, Søren Larsen*

*Københavns Universitet: Ole John Nielsen, Niels Højerslev, Merete Bilde*

Projektet modtog støtte fra de deltagende institutioner samt Statens Forskningsråd for Natur og Univers, Nordea Danmark-fonden, Villum Kann Rasmussen Fonden og Knud Højgaards Fond.

## **Baggrund for projektet**

Der er i disse år voksende fokus på atmosfærens stigende indhold af CO<sub>2</sub> og konsekvenserne af dette for klodens klima. Havet er i kontakt med atmosfæren over 71 % af jordkloden. Det betyder, at der sker en udveksling af CO<sub>2</sub> mellem atmosfæren og havet. Der er faktisk et nettooptag af kulstof fra atmosfæren i havet, og indtil nu har havet optaget ca. halvdelen af den ekstra CO<sub>2</sub>, som mennesker har udledt til atmosfæren. Uden havets optag af CO<sub>2</sub> ville koncentrationen af CO<sub>2</sub> i atmosfæren være betydeligt større, end den er i dag. Havet har således skånet Jorden og været med til at reducere de menneskeskabte klimaændringer, men meget tyder på, at havet ikke fortsat vil kunne optage så meget CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Det er derfor afgørende for forudsigelserne af fremtidens klima, at vi forstår de processer, der regulerer oceanernes optag og lagring af CO<sub>2</sub>.

Oceanernes kulstoflagre indeholder ca. 50 gange så meget kulstof som mængden af kulstof i atmosfæren. CO<sub>2</sub> udveksles hele tiden mellem atmosfæren og havet, og det er derfor ultimativt lagringen af kulstof i oceanerne, som bestemmer atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold i fremtiden. CO<sub>2</sub> er en vigtig drivhusgas, og oceanernes optagelse heraf kan derfor medføre, at de klimatiske konsekvenser af en øget CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren reduceres. Oceanernes optagelse af CO<sub>2</sub> og det marine kulstofkredsløb reguleres af en række fysiske, kemiske og biologiske processer. Det er de fysisk-kemiske processer, som regulerer selve optaget af CO<sub>2</sub> i havet, men de biologiske processer er med til at bestemme, hvor længe det optagne kul-

stof bliver i havet.  $\text{CO}_2$ , som er opløst i vandet, bindes i planter (fytoplankton) ved hjælp af fotosyntese, men hvorvidt det kulstof, som optages af fytoplankton i de øvre vandmasser, lagres i de nedre dele af oceanerne og således medvirker til effektivt at fjerne  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren, afhænger i høj grad af kompleksiteten af den fødekæde, hvori plantebiomassen indgår.

Det overordnede formål med dette projekt har derfor været at kombinere detaljerede biologiske undersøgelser af fødekædens struktur og processer, fra de mindste fytoplankton over dyreplankton til fisk, med målinger af  $\text{CO}_2$ -fluks mellem atmosfæren og havet og informationer om havets fysiske og kemiske karakteristika og havstrømme. På den måde bliver det muligt at lave en global kortlægning af, hvor der sker en nettooptagelse af  $\text{CO}_2$  i havet, og hvor der sker en afgivelse – og samtidig analysere, hvordan biologiske, fysiske og kemiske parametre i havet påvirker denne  $\text{CO}_2$ -udveksling mellem ocean og atmosfære. Disse informationer er vigtige i forbindelse med udviklingen af modeller til forudsigelse af fremtidens klima samt for at opnå en forståelse af de processer i havet, som styrer kulstofoptag- og lagring. Med resultaterne fra vores projekt vil vi derfor kunne bidrage til at udvikle mere præcise forudsigelser af, hvordan klimaet vil udvikle sig i fremtiden. Pålidelige forudsigelser af ændringerne i fremtidens klima er vigtige ikke mindst som grundlag for politiske beslutninger vedrørende alt fra internationale socioøkonomiske forhold over infrastruktur til naturforvaltning globalt og lokalt.

### Forskningsmæssig status

Kulstofprojektet udførte undersøgelser over hele Galathea 3-ruten. I alt har flere end 40 forskere, teknikere og studerende sejlet for kulstofprojektet. To forskere, Karen Marie Hilligsøe og Jens Tang Christensen, deltog på Galathea-togtet fra start til slut, dvs. i alle 8½ måneder. Med i kulstofprojektet har været deltagere fra forskellige danske forskningsinstitutioner og med forskellig faglig baggrund, hvilket har været meget givende og lærerigt og med til at udvikle et fagligt netværk, hvis værdi allerede er begyndt at vise sig i form af nye netværker og fælles forskningsinitiativer. Samarbejdet har været forbilledligt, og med en så bred sammensat gruppe vurderer vi, at vi er nået meget længere, end vi ville være nået med separate mindre projekter.

Undervejs har vi indsamlet og målt titusindvis af prøver. Mange af disse prøver er blevet analyseret undervejs, men der venter stadig et stort analysearbejde, som vi vil fortsætte med i de kommende måneder. Om bord har vi målt parametre som indholdet af  $\text{CO}_2$  i havet og atmosfæren, vandets saltholdighed, alkalinitet, iltkoncentration, fiskeforekomst, klorofylkoncentration og planteplanktons fotosyntese. Derudover blev der indsamlet prøver til analyse af bl.a. næringssalte, partikler i luften, kvantitativ identifikation af



Eksempler på plankton. Foto: Lone Thybo Mouritsen

plante- og dyreplankton, planteplanktonets pigmentsammensætning, forekomst af stabile isotoper ( $^{13}\text{C}$  og  $^{15}\text{N}$ ) i forskellige størrelsesgrupper af plankton samt forekomst af bestemte gener i planteplanktonet. Analysen af de hjembragte prøver er i fuld gang. Vi har bl.a. indgået en yderst fordelagtig aftale med *Orbicon* omkring optælling af vores planktonprøver, hvor *Orbicon* tæller vores prøver mod en så symbolsk betaling, at der reelt er tale om et pænt sponsorat.

Vores data- og prøveindsamling var baseret på forskellige indsamlingsstrategier og platforme. Via et stævnrørsindtag blev overfladevand pumpet kontinuerligt om bord, og salt, temperatur og klorofylfluorescens målt i en såkaldt Ferrybox opstillet af Dansk Ekspeditionsfond. Kulstofprojektet tog ansvar for opsamling af stikprøver til kalibrering af disse målinger. Derudover blev havets  $\text{CO}_2$ -indhold målt i det vand, som blev pumpet om bord. Ligeledes blev vand fra stævnrørsindtaget brugt til filtrering af en større mængde vand til analyse af fødekædens struktur ved hjælp af forekomst af stabile isotoper. Alle disse målinger kunne således finde sted, mens VÆDDEREN sejlede.

Prøver fra forskellige dybder ned gennem vandsøjlen blev indsamlet ved hjælp af en CTD med påmonterede vandflasker, som kunne udløses fra laboratorierne. CTD'en selv måler salt, temperatur og klorofylfluorescens gennem vandsøjlen. Data fra selve CTD'en er fælles data, som kan bruges af alle projekter. Prøver til kalibrering af CTD'en blev indsamlet og målt af kulstofprojektet. Ved hjælp af en platform (den såkaldte Tria-

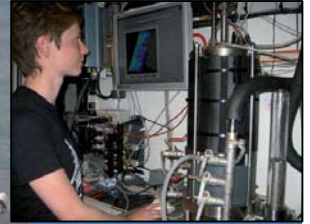
Nogle af de studerende fra Aarhus Universitet, som arbejdede på kulstofprojektet om bord. Foto: Lone Thybo Mouritsen





# HDMS Vædderen

**Radiosondeballoner**  
vind, temperatur



**Atmosfære:**  
CO<sub>2</sub>, vand damp



**Triaxus**  
**Hydrografi:**  
- salt  
- temperatur  
- dybde  
- oxygen

Zooplankton net  
+ fiskenet



ADCPs



xus tilhørende Dansk Ekspeditionsfond), som slæbes efter skibet og bevæges vertikalt i vandsøjlen, og hvorpå CTD og andet udstyr var monteret, blev det også muligt at indsamle fysiske oceanografiske data fra større havområder. Kulstofprojektet tog også prøver til kalibrering af Triaxus-data.

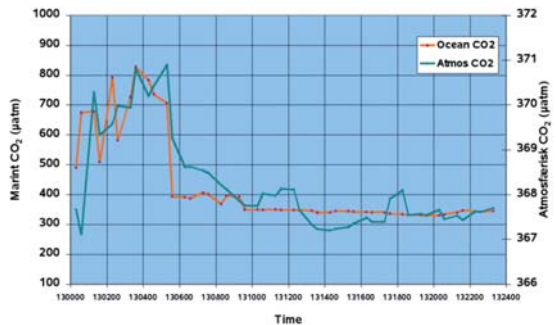
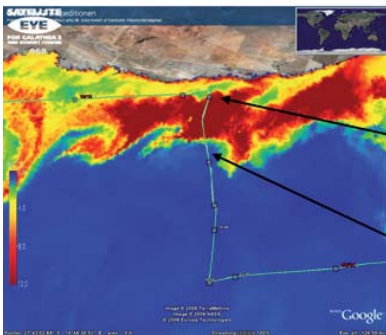
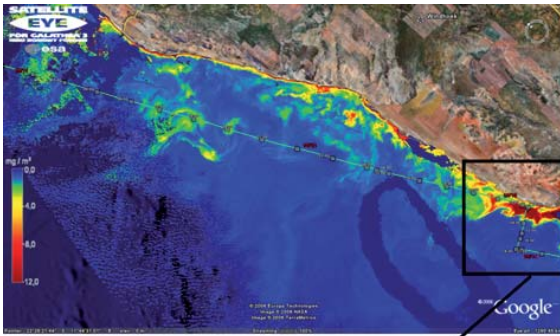
Zooplankton og fiskeprøver blev indsamlet ved hjælp af forskellige net, som slæbtes efter skibet eller vertikalt gennem vandsøjlen.

Dansk Ekspeditionsfond er i færd med at lave en aftale med Danmarks Fiskeriundersøgelser vedrørende kalibrering af CTD-, Ferrybox-, og Triaxus-data. Før denne kalibrering foreligger, er det ikke muligt at færdiganalysere dataene fra kulstofprojektet. Deltagere i kulstofprojektet samarbejder med Danmarks Fiskeriundersøgelser om kalibreringen og har kunnet bevise, at der har været problemer med saltmålinger fra Dansk Ekspeditionsfonds CTD. Disse problemer skyldes muligvis en defekt tryksensor på CTD'en. Den eneste måde, hvorpå man kan undersøge, om det er årsagen til fejlmålingerne, er ved at sende sensorerne til en efterkalibrering på fabrikken i USA. En sådan efterkalibrering er standardpraksis med oceanografisk udstyr. Da kulstofprojektet stiller større præcisionskrav til de fælles oceanografiske data (dvs. data indsamlet med Dansk Ekspeditionsfonds udstyr), har vi besluttet at anvende midler bevilget til projektet til at bekoste efterkalibreringen af dette udstyr.

VÆDDEREN med placering af nogle af de anvendte instrumenter. Fotos: Kulstofgruppen



Zooplankton. Foto: Jens Tang Christensen



De øverste dele af figuren viser VÆDDERENS rute gennem opveling-zonen ud for Namibias kyst. Det røde område indikerer, at der er en høj koncentration af klorofyl og dermed meget planteplankton i vandet, mens den blå farve indikerer, at der er meget lidt plankton i vandet. Nederste figur viser målinger af partialtrykket af CO<sub>2</sub> i vandet (orange) og i atmosfæren (grøn), da VÆDDEREN mellem klokken 6.00 og 8.30 sejler gennem det kolde næringsrige vand i opveling-området og ud i det varme næringsfattige vand.

På trods af at vi endnu mangler en del arbejde, før hele vores datasæt ligger klart, kan vi allerede nu se, at der er rigtig mange spændende resultater. Blandt andet har vi i området ud for Namibias kyst, hvor koldt CO<sub>2</sub>-rigt bundvand vælder op ("upwelling"), målt nogle af de højeste CO<sub>2</sub>-koncentrationer, der nogensinde er målt i havet (se figur 1). I dette område afgiver havet CO<sub>2</sub> til atmosfæren, mens havet omkring f.eks. Grønland optager CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Disse forskelle skyldes bl.a. variationer i vandets temperatur, men også biologiske processer spiller en stor rolle. På Galathea 3-ekspeditionen sejlede VÆDDEREN gennem flere sådanne opwelling-områder, og i gruppen har vi besluttet i første omgang at sætte kræfterne ind omkring en udredning af betydningen af de forskellige fysiske, kemiske og biologiske processer for kulstofudveksling i disse områder. Der planlægges et fælles seminar for deltagere i kulstofprojektet i november 2007, hvor vi vil se nærmere på problemstillingen. Derefter vil man oparbejde prøver først fra de lave breddegrader (oligotrofe eller næringsfattige områder), og så fra de høje breddegrader. Vi stiler efter at kunne samle disse "områdestudier" og derved opbygge et globalt billede af kulstofudvekslingen mellem atmosfæren og havet.

Kulstofprojektet blev udvidet i forhold til den oprindelige beskrivelse med målinger af temperaturens indflydelse på nedbrydning af organisk materiale ved forskellige dybder. Nedbrydning frigør CO<sub>2</sub>. Derfor er kendskab til temperaturens betydning for nedbrydningsrater vigtigt for at kunne forudsige klimaforandringerne påvirkninger af havets kulstofkredsløb. Den del af projektet blev foretaget af en post.

doc. (Karen Marie Hilligsøe), som var støttet af Carlsbergfondet. Af resultaterne fremgår det, at kulstofomsætningen i havets overfladelag er meget følsom over for temperaturstigninger.

Kulstofprojektet er anerkendt som et delprojekt under *Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research*-programmet ([www.imber.info](http://www.imber.info)) og er derfor kendt uden for Danmark. Kulstofprojektets leder er blevet inviteret med på et amerikansk forskningstogt i maj 2008 i Nordatlanten, hvor hun vil tage prøver, som kan støtte analysen af de data, som er indsamlet på Galathea 3. Der planlægges indlæg baseret på data fra kulstofprojektet på flere internationale og nationale videnskabelige kongresser

Adskillige studerende arbejder desuden på data fra kulstofprojektet i forbindelse med udarbejdelse af mindre projekter, specialer og som del af ph.d.-projekter.

### **Formidlingsmæssig status**

Kulstofprojektet er blevet formidlet på utallige måder og niveauer såvel om bord som i land. Om bord har projektets deltagere formidlet til så forskellige personer som H. K. H. Kronprins Frederik, videnskabs-, undervisnings- og miljøministrene, journalister og andre formidlingsfolk, andre ekspeditionsdeltagere, skoleelever og ikke mindst den meget interesserede besætning.

Kulstofprojektet er blevet omtalt i adskillige avisartikler med fokus på faglige problemstillinger, men også mange 'rollemodels-artikler' har haft kulstofprojektets deltagere som hovedpersoner. Projektets forskere har medvirket i flere videospots offentliggjort på de involverede mediers hjemmesider og i flere film - bl.a. en film om en gymnasieklasses deltagelse i Galathea 3. Projektlederen har bl.a. optrådt som sommergæst i P1 (halvanden times diskussion om forskning med fokus på vores Galathea 3-projekt, og om hvordan det er at være kvinde i forskningsverdenen) samt bidraget til et *Viden om*-program (DR TV) om alger (udsendtes d. 11. september). Desuden er projektet fremhævet i Zoologisk Museums udstilling om Galathea-ekspeditionerne, hvor projektlederen optræder som en af de otte forskere, man kan 'interviewe' og stille spørgsmål om forskning og det at være forsker.

I land er der både før, under og efter ekspeditionen blevet holdt utallige foredrag, og mange flere er planlagt i fremtiden. Disse foredrag omhandler både projektets faglige problemstillinger og fortællinger om livet om bord, og niveauet spænder meget bredt fra folkeskolens yngste klasser over gymnasiet og den almindelige offentlighed til faglige konferencer. Vi får stadig rigtig mange invitationer til at holde foredrag for f.eks. foreninger, skoler og faglige forsamlinger. Vi har skrevet populære fremstillinger af vores faglige problemstilling og rejsebeskrivelser fra vores tid om bord på VÆDDEREN i mange forskellige udgivelser til et meget bredt publikum i Danmark. Vi har desuden en aftale med tidsskrif-

tet *Naturens Verden* om en serie artikler med udgangspunkt i kulstofprojektet.

Ingen videnskabelige publikationer er endnu udkommet, men talrige publikationer er planlagt, og der er som nævnt aftalt en række populærvidenskabelige artikler i *Naturens Verden*, hvoraf den første er færdig, men endnu ikke trykt. Derudover har projektet bidraget med artikler til IMBER-nyhedsbrevet IMBER Update og IGBP's (International Geosphere-Biosphere Programme) nyhedsbrev.

Samlet set vurderer vi, at vi har haft en meget, meget stor formidlingsmæssig succes med vores projekt, og meget tyder på, at der foreligger endnu en stor formidlingsopgave, som tager udgangspunkt i kulstofprojektet.

### **Konklusion**

For samtlige deltagere i kulstofprojektet blev både det forskningsmæssige og det personlige udbytte af deltagelsen i Galathea 3 langt større, end man oprindeligt havde forestillet sig, og det er vores overbevisning, at ekspeditionen vil leve videre i nogen tid endnu, bl.a. via den formidlingsvirksomhed, som så mange Galathea-deltagere, herunder deltagere i kulstofprojektet, driver. Der er ingen, der er bedre til at formidle forskning end de forskere, som brænder for deres sag. Forskningsopgaven, som blev igangsat på ekspeditionen, er som anført ovenfor ikke afsluttet endnu, idet der stadig mangler dataoparbejdning og afrapportering. På samme måde betragtes kulstofprojektets formidlingsopgave heller ikke som afsluttet endnu. De officielle aftaler med de fire mediepartnere dækkede kun den periode, hvor selve forskningsplatformen VÆDDEREN var i operation. Nu er formidlingsansvaret overdraget til forskerne selv. Det er således for tidligt at drage en endelig konklusion med hensyn til omfanget eller værdien af den formidling, som kommer fra kulstofprojektet eller fra Galathea 3-ekspeditionen i det hele taget.

August 2007