

Sporelementers biogeo

– et studie af verdenshavene

Hvordan reguleres de biogeochemiske processer i havet? Dette store spørgsmål forsøger forskere fra hele verden at belyse igennem det internationale forskningsprogram GEOTRACES. Forfatteren var med på tre af togterne.

OM GEOTRACES

Forskningsprogrammet GEOTRACES bygger på tre overordnede mål:

1. Bestemmelse af den globale fordeling af udvalgte sporelementer og deres isotoper i havene, herunder koncentrationer, kemisk og fysisk form. Dette skal bruges til at vurdere, hvor sporelementerne kommer fra, hvor de ender og det interne kredsløb. Ved at kende disse, kan man få en bedre forståelse for de fysiske, kemiske og biologiske processer, der styrer deres udbredelse.
2. At opnå en bedre forståelse af de processer, der er involveret i havets biogeochemiske kredsløb. Herved kan man bedre forudsige, hvordan disse kredsløb reagerer ved globale ændringer, og hvordan de påvirker kulstofkredsløbet og klimaforandringer.
3. At opnå en bedre forståelse af de processer, der kontrollerede koncentrationssammensætninger af sporelementernes geochemiske former som man i dag bruger til at vurdere tilstanden af fortidens oceaner.

GEOTRACES-programmet er internationalt og er bygget op om, at de nationale instanser betaler for forskningen. Således var det National Science Foundation i USA, der finansierede togterne omtalt i denne artikel.

kemiske cyklus i havet

Forskningsskibet R/V Knorr var netop ankommet til en ny station, og jeg havde travlt med at gøre vores udstyr til at hente vandprøver klar. Dette ville være det første af 2-3 prøvetagninger på henholdsvis lav dybde, middel og dybt vand, som vi udførte på hver station. Min opgave om bord var at føre log og sætte numre på de specielle "GoFlo-flasker", vandprøverne blev hentet op i, og generelt sørge for, at udstyret var klar til at blive sat ud over siden på skibet og gå i dybet. Når udstyret havde nået den ønskede dybde, skulle jeg via aftale med forskningslederen "affyre" GoFlo-flaskerne via et computerprogram, så vi fik de rigtige vandprøver med op. Derefter ventede arbejdet i skibets analytiske labo-

◀ Forskere og teknikere er ved at få rosetten med 24 GoFlo-flasker ombord på R/V Knorr. Hver GoFlo-flaske kan indeholde 12 liter vand. Systemet sættes ud over siden på skibet og er forbundet med et 7600 m langt kabel. Hele systemet sænkes ned gennem vandsøjlen med åbne GoFlo-flasker til den dybeste, ønskelige dybde. Herefter kan man via et computerprogram udløse GoFlo-flaskerne, så de lukker i og indsamler vandprøverne på de ønskede dybder på returvejen op til havoverfladen. Roset-rammen er belagt med et tykt lag plastik. Rammen, der holder udstyr, der måler dybde, temperatur, saltindhold og iltindhold i vandet, er af titanium. Det minimerer risikoen for at forurene vandprøverne.

ratorium, hvor jeg analyserede vandprøver fra de øverste 200 m for næringsstoffer. Når skibet sejlede mellem stationerne fortsatte arbejdet, for hver fjerde time skulle der udtages prøver af overfladevandet, som også skulle analyseres for næringsstoffer.

Søvn? Nej, det blev der ikke meget af. Men spændende og udfordrende – det var det!

I sporelementernes verden

At jeg befandt mig på forskningsskibet R/V Knorr skyldtes, at jeg gennem 4 år arbejdede i togtleder Dr. Cutters laboratorium i USA. Selve togtet var en del af det internationale forskningsprogram GEOTRACES, som kort fortalt går ud på at undersøge de marine biogeokemiske kredsløb af sporelementer og deres isotoper.

Mange grundstoffer findes i havet kun i ganske små mængder (man kalder dem sporelementer), men de spiller ikke desto mindre en vigtig rolle for livet i havet og har derfor en afgørende betydning for oceanernes økosystemer og det globale kulstofkredsløb. Sporelementer som jern, kobolt og zink er således essentielle mikronæringsstoffer, som mikroorganismer er afhængige af. Deres tilgængelighed i vandsøjlen har derfor indflydelse på mikroorganismernes fysiologiske funktion og dermed også på den biologiske produktivitet. Jern er eksempelvis et vigtigt ele-

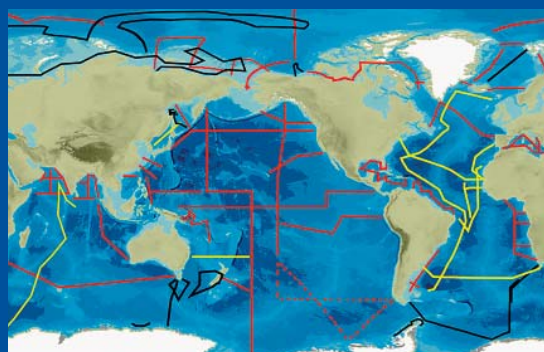
Forfatter



Louise Aastrup Zimmer er uddannet cand. scient

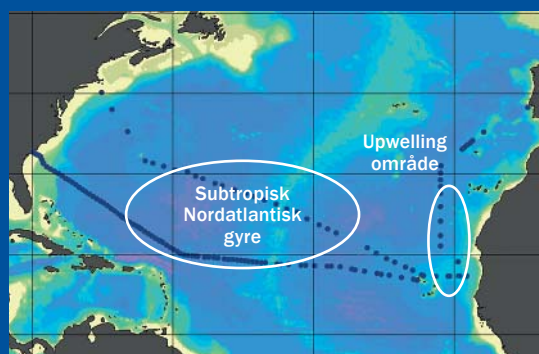
fra Roskilde Universitet i 2008. Louise har fra 2008 til 2012 arbejdet som Research Associate i dr. Cutters biogeokemiske laboratorium, Department of Ocean, Earth, and Atmospheric Sciences, Old Dominion University (ODU), Norfolk, Virginia, USA. Her deltog hun bl.a. på tre GEOTRACES-togter. Louise underviser nu på Laborantskolen i Slagelse. louise.aa.zimmer@gmail.com

Fotos: Louise Aastrup Zimmer



GEOTRACES togter. Gule sektioner er gennemførte togter (pr. 1. september 2012). Sorte sektioner blev gennemført som GEOTRACES bidrag til det Internationale Polar år (IPY). Røde sektioner er planlagte sektioner for de næste 5-10 år.

Illustration: Geotraces.org



Togtet startede syd for Portugal, hvor Middelhavet møder Atlanterhavet, til upwelling-området ud for nordvestkysten af Afrika, gennem den næringsstoffattige, subtropiske del af den Nordatlantiske gyre og skulle slutte på tværs af Golfstrømmen i Woods Hole, Massachusetts, USA. Det blev afbrudt (pga knækket skrueraksel) ved Kap Verde Øerne. Togtet fra Woods Hole til Kap Verde øerne blev gennemført i efteråret 2011.

ment, som indgår i fotosyntesen hos fytoplankton (planteplankton). Hvis der mangler jern i et havområde vil dette forhindre fytoplanktons evne til at fiksere kulstof, selvom der ikke er mangel på makronæringsstoffer som fosfat eller nitrat. En lav produktion af fytoplankton medfører lave populationer af zooplankton, fisk og arter højere oppe i fødenettet og påvirker dermed hele økosystemet.

En modsat problemstilling er de sporelementer, som findes i forhøjede koncentrationer på grund af menneskets aktiviteter. Det gælder sporelementer som bly og kviksløv, som kan stamme fra industriel produktion eller trafik.

Andre sporelementer som for eksempel radioaktive sporisotoper med kendte henfaldsrater kan bruges til at rekonstruere, hvordan havstrømme, hastigheder og havmønstre så ud før i tiden og dermed fortælle om havenes produktivitet og økosystemstrukturer i fortiden.

Fuld fart på sporelement-forskningen

Videnskaben har for længst erkendt vigtigheden af sporelementer og deres isotoper i det biogeokemiske kredsløb. Men der er store huller i vores viden om de forskellige sporstoffers kredsløb – hvor de har deres oprindelse, hvordan de er fordelt i vandsøjlen i forskellige havområder, og hvor de i sidste ende forsvinder hen. Det var baggrunden for, at GEOTRACES blev iværksat i år 2003, og målet er, at man i løbet af det næste tiår vil gennemsejle alle større havområder og indhente vandprøver for herigennem at øge kendskabet til havets biogeokemiske processer. Videnskabsfolk fra mere end 30 lande er involveret i GEOTRACES-projektet.

GEOTRACES bygger videre på den erfaring man fik med GEOSECS (Geochemical Ocean Section Study) programmet i 1970'erne, hvor man for første gang fik tredimensionelle billeder af den geokemiske fordeling af en række sporelementer og isotoper i verdenshavene. Store dele af verdenshavene har fortsat praktisk talt aldrig været undersøgt.

Siden GEOSECS er der sket en hastig udvikling af både prøveindsamlings teknik og analytisk teknologi, så man nu kan måle de fleste elementer i det periodiske system ned til nanomol – dvs. en milliarddel af en mol – pr. liter havvand. Amerikanerne har fx til brug i GEOTRACES fået bygget en speciel laboratoriecontainer med filter og positivt tryk, således at luft og støv udefra ikke kommer ind i containeren, når der skal fordeles vandprøver fra de særlige GoFlo-flasker, der bruges til at hente vand op fra havets dyb.

Så meget som muligt indeni containeren er bygget op af teflon og andet syntetisk materiale, og det, der ikke er, er pakket godt ind, så man undgår kontakt

Måling af næringsstoffer

Inden for oceanografien er et vigtigt værktøj næringsstoffdybdeprofiler – dvs. hvordan koncentrationen af næringsstoffer varierer ned gennem vandsøjlen (se figur). På sådanne profiler ser man typisk lave koncentrationer i de øverste vandlag, fordi organismer optager næringsstofferne. Ned gennem vandsøjlen stiger koncentrationen af næringsstof efterfølgende i takt med, at nedbrydningen af organisk materiale finder sted.

Nogle sporelementer som for eksempel cadmium og zink har dybdeprofiler, som viser en tilsvarende variation ned gennem vandsøjlen, hvilket antyder, at også disse sporelementer optages af organismerne i de øverste vandlag og frigives dybere nede.

I GEOTRACES-forskningsprogrammet måles blandt andet sporelementer som jern og zink og makronæringsstoffer som fosfat og nitrat, da begge dele kan være den begrænsende faktor for produktionen af fytoplankton og dermed for den biologiske aktivitet.

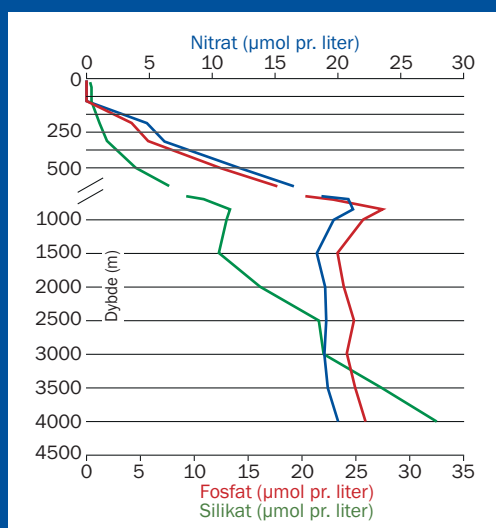
Når man måler næringsstoffer i vandsøjlen, benytter man konventionelt udstyr, der kan måle koncentrationer i mikromol pr. liter. Det betyder, at man ofte ikke kan få tal for koncentrationerne af næringsstoffer i det åbne oceans øverste vandlag, idet koncentrationerne er under apparaturets målegrænse.

I praksis tilsætter man kemiske reagenser til vandprøven, så der dannes en farvet forbindelse, som man sender lys igennem. Jo højere koncentrationen i vandprøven er, jo kraftigere farve får forbindelsen og dets mere lys bliver der absorberet. Beregninger af koncentrationen bygger på Beer-Lamberts lov om sammenhængen mel-



Det analytiske laboratorium på skibet, hvor jeg analyserede vandprøver for fosfat, nitrit og nitrat. Med udstyret er det muligt at analysere koncentrationer ned til 1 nanomol pr. liter, som man fx finder i Sargassohavet.

lem koncentration og absorptions. Absorbansen er nemlig lig med koncentration af det pågældende næringsstof ganget med længden af lysvejen ganget med en konstant. Til målinger i mikromol pr. liter er lysvejen 1 cm. Ved at øge lysvejen kan man øge følsomheden for udstyret og dermed måle lavere koncentrationer. Vores udstyr var modificeret med "liquid waveguide capillary cells", populært kaldet waveguides. En waveguide har en lysvej på 200 cm længde. Derved har vi nedsat apparatets målegrænse og kan nu måle næringsstoffer i få nanomol pr. liter. Waveguide-teknikken er tidskrævende, så derfor var vi to grupper ombord, der målte næringsstoffer.



Næringsstofprofil fra Sargassohavet (31°N 64°W) med lave koncentrationer af nitrat, fosfat og silikat i de øverste 150 m af vandsøjlen.

Venligst udlånt af Dr. Cutter, GEOTRACES 2008.



Dyre dråber fra havets dyb hældes ud fra en af de 24 GoFloflasker, der bruges til at hente vand op fra forskellige dybder.

med metaller. Selv den mindste forurening kan nemlig være signifikant, når man måler vandprøver med disse lave koncentrationer.

På togt

Efter to indledende togter i 2008 og 2009 (jeg var med i 2009), hvor man afprøvede udstyr og finjusterede procedurer, kom tiden til det første amerikansk-ledede GEOTRACES-togt i 2010. Forventninger var store, da vi stævnedes ud fra Lissabon, Portugal, midt i oktober ombord på forskningsskibet R/V Knorr.

Togtet var planlagt til at gennemsejle det saltholdige Middelhavs udløb i Atlanterhavet, derefter ned langs nordvestkysten af Afrika. Dette område er biogeokemisk interessant, da en kombination af upwelling af næringsrigt dybvand sammen med støv fra Sahara medfører en stor algeopblomstring. Derefter en forlængning på tværs af den næringsfattige, subtropiske del af den Nordatlantiske gyre – store systemer af vinddrejede rotationer af havstrømme – med afslutning på tværs af Golfstrømmen til Woods Hole, Massachusetts, USA.

I alt 32 forskere var med ombord fordelt på fire grupper, hvoraf de to arbejdede med hver sin type af vandhentere (jeg var med i den gruppe, som brugte GoFlo-flasker). Derefter en pumpegruppe, som ved hjælp af særlige pumper nedfired til de ønskede dybder, filtrerede vandet for partikulært materiale. Den sidste gruppe arbejdede med aerosoler, hvor de indsamlede atmosfærisk støv og regnvand.

Held i uheld

Togtet var godt på vej ind i sin tredje uge lidt øst for Kap Verde Øerne, da R/V Knorrs maskinbesætning udviste en usædvanlig stor aktivitet. Det viste sig at bagbords skrueaksel var knækket, og man blev nødt til at aflyse den resterende del af togtet. I stedet skulle skibet for lav fart sejle tilbage til en dok på den amerikanske østkyst. Så mange forberedelser og forventninger om forskningsresultater og ikke mindst den amerikanske prestige blev slukket på et øjeblik. Men heldigvis var min professor, Dr. Cutter, der også var en af togtlederne, god til at se nye muligheder. Da en del af vores forskning gik ud på at analysere overfladevandet mens skibet flyttede sig mellem stationerne ved hjælp af "fisken" – det vil sige udstyr, der kun blev brugt, når skibet sejlede – kunne vi fortsætte med den del af forskningen selvom skibet ikke stoppede undervejs. Ret usædvanligt fik vi i alt seks forskere fra de forskellige grupper lov til at sejle med R/V Knorr tilbage til dokken i Charleston, South Carolina, USA. På grund af maskinskaden og skibets begrænsede manøvre evne valgte man at sejle en sydligere kurs for at holde skibet ude af dårligt vejr. Det blev til 18 fantastiske dage på tværs af subtropisk Atlanterhav med 8 knob i timen med spektakulær forskning. På grund af den lave fart fik vi en meget høj dataopløsning

med både prøver udtaget hver fjerde time og et kontinuerlige indtag, som begge giver et unikt billede af makronæringsstofkoncentrationerne i overfladevandet på tværs af Atlanterhavet med fx fosfatkoncentrationer ned til 3 nanomol pr. liter.

Med kun seks forskere ombord og R/V Knorr's 19 mand besætning fandt vi hurtigt ind i en god rytme med analyser, vedligeholdelse af udstyr og databehandling. Der var endda også tid til at nyde tropesolen i hængekøjen og studere den flotte stjernehimmel.

Bunden blev nået

Det gode skib R/V Knorr blev repareret og i november 2011 gennemførte man den resterende del af GEOTRACES-togtet. Jeg var med fra Bermuda til Kap Verde Øerne. Heldigvis havde vi denne gang en specialestuderende med, således jeg kunne koncentrere mig om arbejdet i det analytiske laboratorium. Dog afløste jeg fortsat, når jeg havde tid, som GoFlo-koordinatør ude på dækket og ved computeren, når vandprøverne skulle tages. Jeg havde glædet mig meget til, at vi skulle passere den Midtatlantiske højderyg, hvor vi skulle indhente vandprøver fra de varme kilder på 3500 meters dybde. Da jeg havde travlt i det analytiske laboratorium denne dag, var det ikke mig, der sad ved computeren, da jagten gik ind på de varme kilder. Og godt for det. Et øjeblik uopmærksomhed og manglende kommunikation mellem togtlederne gjorde nemlig, at udstyret ramte havbunden, og det er ikke godt med udstyr til flere millioner dollars. Spændingen var derfor stor, da vandhæntningssystemet blev taget ombord igen, men heldigvis havde udstyret kun fået overfladiske skrammer og en brækket sensor efter sammenstødet med havbunden.

Til det næste amerikanske GEOTRACES-togt i 2013 på tværs af Stillehavet fra Ecuador til Tahiti, er der bevilliget et titanium-altimeter, således at man kan måle afstanden til havbunden og dermed bevæge udstyret i behørig afstand fra denne.

Succesen kom i hus

Resten af togtet forløb stort set planmæssigt. Bommen, der holdte "fisken", flækkede i samlingen, men endnu engang var samarbejdet med R/V Knorr's besætning upåklageligt og i løbet af ingen tid, var "fisken" i vandet igen.

Efter 38 dage på tværs af Atlanterhavet ankom 32 glade og lettede forskere ombord på R/V Knorr til Kap Verde Øerne. Lasten var fyldt med mange tusinde vandprøver, der nu skulle analyseres som en brik til kortlægningen af havens biogeokemiske kredsløb af sporelementer og deres isotoper. I vores laboratorium har vi fået sat tal på koncentrationerne af fosfat, nitrit og nitrat i de øverste 200 m af vandsøjlen, koncentrationer som før var ukendte, da de har ligget under den konventionelle måleudstyrs målegrænse på 200 nanomol pr. liter (se boks). Ud over at de målte koncentrationer er interessante i sig selv, kan vores resultater også bruges i forbindelse med computermodellering af fytoplanktons optagelse af næringsstoffer. Specielt vores resultater fra det kontinuerlige indtag fra gennemsejlingen af upwelling-område nordvest for Afrika viser svingninger i fosfatkoncentrationen på mellem 5 og 100 nanomol pr. liter, når det kolde, næringsstofrige vand kommer op til overfladen efterfulgt af lige så store fald, der falder sammen med opblomstringen af fytoplankton.

Ydermere har togtet i 2010 lagt grund til et eksamensprojekt i organisation med en analyse af skibsorganisationen versus forskningsorganisationen, som en del af den merkonomuddannelse i ledelse, jeg er ved at læse. Det har været rigtig sjovt at se naturvidenskaben gennem disse mere "forretningsorienterede briller", to ting, som man ikke traditionelt kæder sammen. Jeg mener nemlig det er vigtigt, at man som forsker også anerkender de ledelsesfaglige og organisatoriske udfordringer, der er i forsknings-samarbejdet og ikke kun hengiver sig til sin egen forskning, selv om den afgjort er spændende. ■

Læs mere

www.geotraces.org

Zimmer and Cutter, 2012: High resolution determination of nanomolar concentrations of dissolved reactive phosphate in ocean surface waters using long path liquid waveguide capillary cells (LWCC) and spectrometric detection. *Limnology and Oceanography: Methods in press.*

Zimmer, L.; Gipson, B.; Wurl, G. A., 2012: Distribution of nanomolar reactive phosphate and alkaline phosphatases across North Atlantic surface waters. Poster, Ocean Sciences Meeting, Salt Lake City, USA.



FVi er fremme ved en ny station, og data fra den første prøvetagning studeres nøje. Data som saltholdighed, klorofyl og opløst ilt, kan hjælpe med at afgøre i hvilke dybder, vandprøverne skal indhentes fra.



Laboratoriecontainer hejses ombord på R/V Knorr. Containeren er udstyret med filtre og sættes indvendigt under tryk, så partikler ikke trænger ind og forurener prøverne.

Artiklen kommer fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab*: aktuelnaturvidenskab.dk