

Havets plankton



Havet opsuger i dag en stor del af de drivhusgasser, som menneskeheden udleder. Det sker bl.a. takket være "den biologiske pumpe", hvor havets små organismer er med til at sende CO₂ mod havets bund. Vi forsøger nu at forstå detaljerne i denne pumpe og dermed bidrage til at besvare spørgsmålet om, hvor lang tid havet kan blive ved med at rydde op efter os.



► Krill fanges ved hjælp af såkaldte Bongo-net. Forsøgene med krill foregår i store forsøgsflasker på 13 liter. På nederste foto ses en krill i et prøveglas før den lægges ned i de større forsøgsflasker. Stort foto viser *Mega-nyctiphanes norvegica*.

Foto: Wikipedia/Uwe Kils

Hvert forår sker der en massiv opblomstring af alger i Nordatlanten. Opblomstringen varer typisk 2-3 uger, og koncentrationen af alger bliver så høj, at man fra rummet kan se dem som store grønne områder i det ellers blå hav.

Når algerne vokser, sætter de gang i et dræn af klodens CO₂, den såkaldte "biologiske pumpe", som fjerner CO₂ fra atmosfæren og sender det ned på havets bund. Her bliver det lagret permanent, og kan således ikke længere virke som drivhusgas og bidrage til klimaændringer. I Nordatlanten er algeopblomstringen stor og derfor er pumpen også meget stærk. Det gør Nordatlanten til et helt oplagt sted at studere havets rolle i fjernelsen af menneskeskabt CO₂ fra atmosfæren.



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

bremses klimaændringer

I foråret deltog vi i en seks uger lang ekspedition med havforskningskibet Meteor på Nordatlantens bølger som led i projektet EURO-BASIN, der er koordineret af DTU-Aqua (side 40). Om bord var vi en international gruppe på i alt 28 forskere, som hver havde deres forskningsprojekt. DTU-Aquas forskergruppe havde til opgave at undersøge, hvordan nogle af havets hidtil mere oversete organismer påvirker den biologiske pumpe. For mens nogle organismer bidrager til at hive CO₂ ud af atmosfæren, så er der andre, som nærmere får pumpen til at køre langsommere. Vi fokuserede på to hovedgrupper: mikroorganismer (dvs. virus, bakterier og encellet dyreplankton) og krill (lyskrebs), som er større dyreplankton.

Mikroorganismer og krill har ikke meget tilfælles, men begge grupper har afgørende betydning for, hvor stor en andel af kulstoffet fra luften, som ender i bundvandet. Mikroorganismene omsætter alger og dødt organisk materiale, hvorved de frigiver næringssalte og CO₂ til vandet. Krill derimod, æder alger og dyreplankton, og omdanner dem til tunge fækaliepiller fyldt med kulstof, som hurtigt synker ned på havets bund. Man kan dermed sige, at krillen forstærker den biologiske pumpe, mens mikroorganismene bremser den, ved at holde det organiske stof i overfladen. Dog ved man endnu meget lidt om begge gruppers rolle i Nordatlantens økosystem.

Der er andre vigtige aktører i havets kulstofkredsløb end mikroorganismer og krill, fx vandlopperne – havets mest talrige flercellede organisme. Ligesom krill omsætter vandlopperne alger, og de er vigtig føde for fiskeyngel og derfor et centralt led i havets fødekæde. Men da vandlopperne i Nordatlanten allerede er meget velbeskrevne, har vi valgt at se bort fra dem i denne artikel.

Krill accelererer den biologiske pumpe

Krill er rejelignende krebsdyr og er efter vandlopper den næststørste gruppe af dyreplankton i havet. Krill lever af mindre plankton såsom alger og mindre

dyreplankton, mens de selv bliver ædt af større dyr som fisk, hvaler og havfugle.

Krill har den specielle adfærd, at de om dagen opholder sig nede i mørket for at undgå at blive ædt af rovdyr, mens de om natten svømmer op til de øvre vandlag for selv at æde plankton. Fordi krill æder om natten, for efterfølgende at svømme ned om dagen, kan det betyde, at deres fækalier bliver udskilt på dybere vand end der, hvor de har ædt. Det betyder, at deres adfærd medvirker til en forstærkning af den biologiske pumpe ved at accelerere transporten af kulstof ned mod havets dyb. Krill-fækalier har nemlig et højt indhold af kulstof og er så tunge, at de kan synke flere hundrede meter om dagen.

Da krillene er tæt på overfladen om natten, er det også på dette tidspunkt, at de er lettest at fange. På ekspeditionen arbejdede "krill-holdet" derfor hovedsageligt om natten. Krill-holdet var dog langt fra alene om natten, da skibets mange andre forskere ikke kun arbejdede i dagtimerne. Nogle undersøgte forskelle i planktonsamfundet eller havets fysik mellem dag og nat. Andre arbejdede blot om natten, fordi et forskningsskib er dyrt i drift (225.000 kr. pr døgn), så tiden skal bruges fuldt ud.

For at undersøge krillens mulige rolle i den biologiske pumpe, blev der lavet forskellige forsøg om bord på skibet.

Efter krillene var blevet fanget med et såkaldt Bongo-net blev de puttet i flasker som var fyldt med naturligt havvand, som indeholdt forskellige typer af alger og dyreplankton. Her fik krillene lov til at svømme rundt og æde i et døgn. Ved at måle indholdet af plankton i det vand, som krillene svømmede rundt i ved forsøgets start og så igen efter 24 timer, er det muligt at beregne hvor meget plankton krillene æder. Indtil videre tyder vores analyser af resultaterne på, at krillene æder alt, hvad der bliver serveret for dem, dvs. alt fra alger til vand-

Forfattere



Maria Lund Paulsen, m. sc.-studerende, Bergen Universitet og DTU-Aqua. mlpa@aqua.dtu.dk



Karen Riisgaard, ph.d.-studerende, DTU-Aqua. krri@aqua.dtu.dk



Mette Dalgaard Agersted, ph.d.-studerende, DTU-Aqua. mda@aqua.dtu.dk



Line Reeh, kommunikationsmedarbejder, DTU-aqua. lre@aqua.dtu.dk



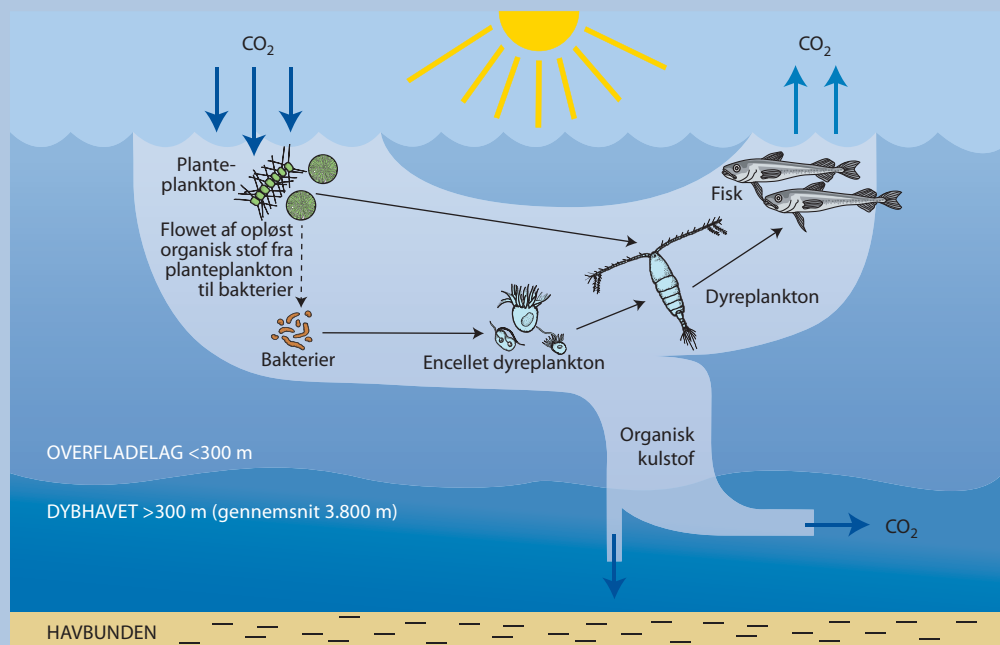
Torkel Gissel Nielsen, dr. scient og professor, DTU-Aqua. tgjin@aqua.dtu.dk

Den biologiske pumpe

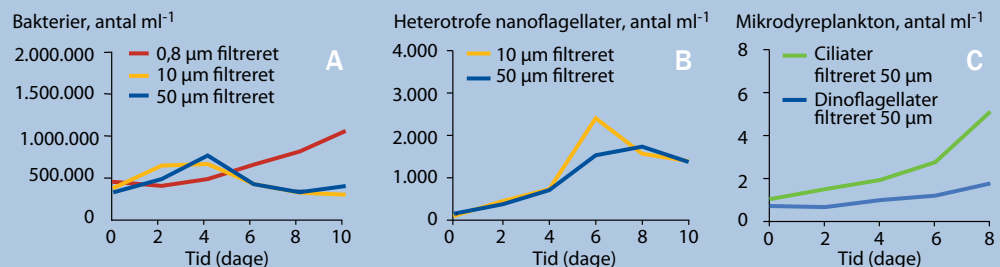
Havets optag af CO_2 sker primært ved to processer: Den fysiske pumpe, hvor CO_2 fra atmosfæren ved kontakt med havets overflade vil søge ligevægt med atmosfærens CO_2 -indhold. Kemiske reaktioner medvirker til, at der vil være et stadigt optag af CO_2 ved overfladen, så længe overfladevandet blandes ned. Denne pumpe fastholder dog kun CO_2 over en begrænset tidshorisont (maks. 1000 år). Herefter vil CO_2 afgasse igen, når det blandes op til overfladen, hvor det nu har et højere CO_2 -indhold end atmosfæren. Den fysiske pumpe er tæt koblet til havets dybvandsdannelse (se Aktuell Naturvidenskab nr. 3/2007).

Den biologiske pumpe er det eneste naturlige dræn for kulstof på jorden, som kan begrave CO_2 over geologisk tid. Den sætter i gang, når algerne optager CO_2 eller HCO_3^- (bicarbonat) og ombygger dette til organisk kulstof. Dette ædes af både større dyreplankton og mikroorganismer gennem komplekse fødekæder. Langt det meste kulstof respireres i vandmasserne, men en mindre del (ca. 1 %) af kulstoffet vil i sidste ende synke mod havets dyb både i form af døde planktonceller og fækalier fra dyreplankton, og vil begraves her over geologisk tid og i sidste ende blive til fossilt kulstof. Endnu en betydelig del af havets organiske kulstof er de mindste opløste kulstof-forbindelser, som når ned i dybhavet ved fysisk nedblanding og kan blive der i 5000-6000 år.

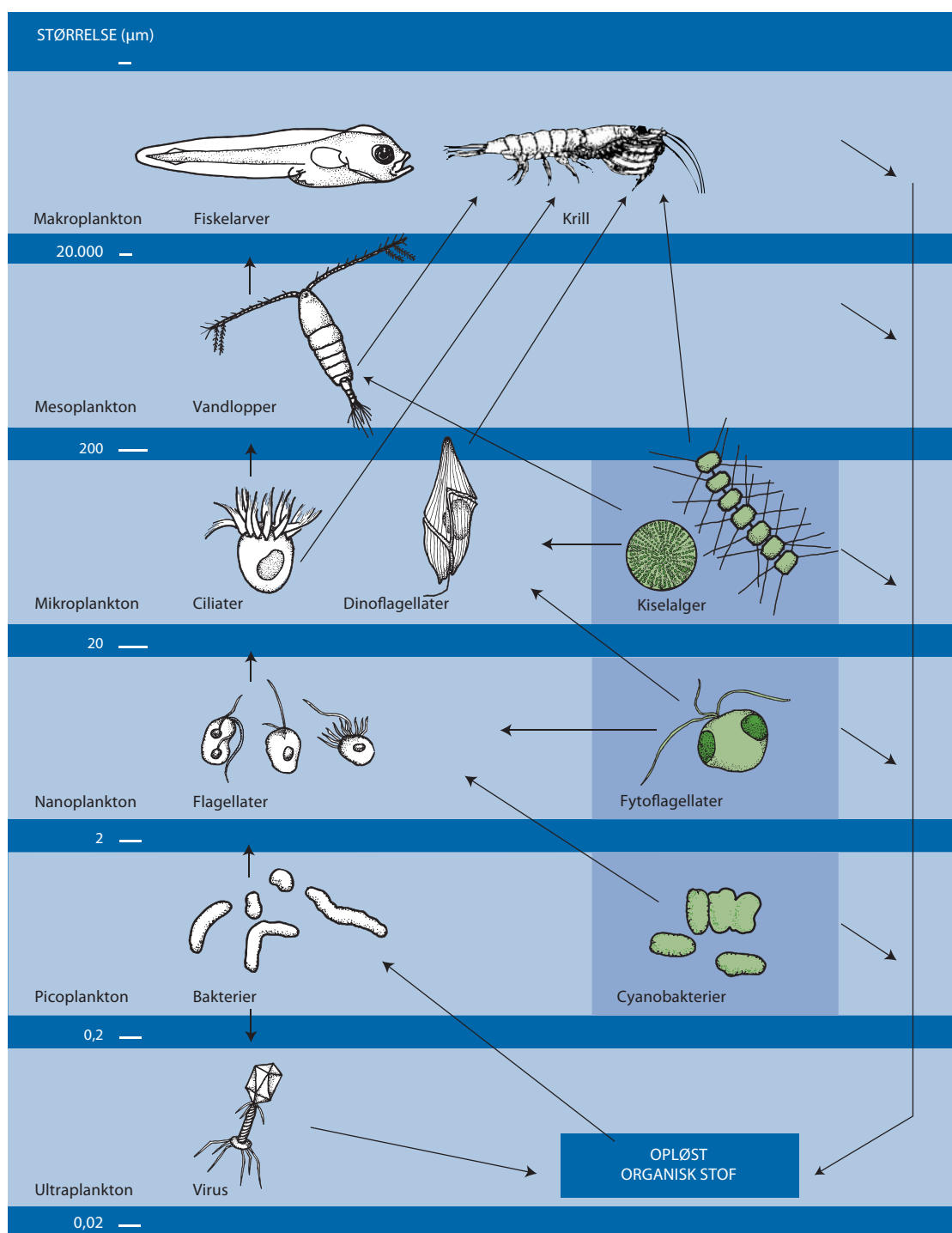
Hvilken pumpe, der begraver mest kulstof, varierer over året og fra område til område. I reglen vil den biologiske kulstof-pumpe være stærkest over sommeren, hvor der sker stor opbygning og nedsynkning af organisk materiale. Den fysiske pumpe er som regel stærk over vinteren, når der er kraftig nedblanding af overfladevandet.



Antal af mikroorganismer set over et 10-dages forløb



Resultat fra forsøg som viser hvordan forskellige grupper af mikroorganismer vokser/aftager i antal over 10 dage, hvilket giver en ide om, hvem der spiser hvem. I havvand, som er suget gennem et filter med huller på 0,8 µm, slipper kun bakterier igennem. Dermed er der intet encellet dyreplankton, som kan spise bakterierne, og derfor vokser antallet af bakterier i dette vand stabilt gennem perioden (se den røde kurve i A). Derimod aftager antallet af bakterier i det vand, der er filtreret ved 10 µm (gule kurve) og 50 µm (blå kurve). Grunden er, at her spises bakterierne af de små encellede dyr (heterotrofe nanoflagellater) som er sluppet igennem de større filtre. Antallet af heterotrofe nanoflagellater aftager dog efter dag 6 (B). Det skyldes, at det større encellede dyreplankton, som æder nanoflagellaterne, stiger i antal (C). Vi kan ud fra kurverne beregne, hvor meget de forskellige grupper kan spise om dagen.



Fødenettet

Havets pelagiske fødenet består af mange størrelsesgrupper. Her vises strømmen af kulstof gennem forskellige led af fødekæden.

lopper. Det betyder altså, at hvis der ikke er alger til stede, som fx om vinteren, så vil krillene ernære sig af andet plankton. Krill sender derfor kulstof bundet i fækalier ned mod havets bund året rundt, og er dermed flittige aktører i den biologiske pumpe.

Det usynlige dyreplanktons rolle

Det kan være svært at forestille sig, hvordan dyr mindre end spidsen af en knappenål, kan spille en rolle i den biologiske pumpe, men i kraft af deres enorme antal får de små dyreplankton faktisk afgørende betydning. Både deres krop og deres fækalier er så små, at det ikke kan synke. De bli-

ver derfor hængende i vandet, hvor de omsætter havets kulstof og via respirationen omdanner kulstof til CO_2 , hvilket modvirker den biologiske pumpe.

For at undersøge mikroorganismernes rolle i fødenettet lavede vi en række forsøg, hvor vi undersøgte hvem der spiser hvem. Her talte vi antallet af bakterier, små alger, encellede dyr (kaldet heterotrofe nanoflagellater), som spiser bakterier og større encellede dyr (kaldet mikrodyreplankton), som spiser de mindre encellede dyr gennem en tidsperiode på 10 dage og kunne se udviklingen i de forskellige

Sådan arbejder vi

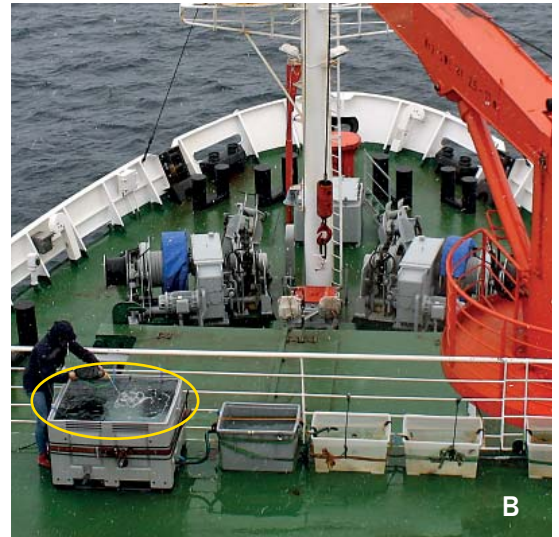
A Der hentes 100 L havvand op til forsøget. Det foregår på en skånsom måde, hvor de mørkegrå "niskin" flasker hejses ned og lukkes på 30 m dyb.

B I kølerum filtreres vandet for at fjerne de større dyreplankton, så de mindre kan vokse op og deres vækst kan undersøges. Det filtrerede vand fyldes på gennemsigtige 2,5 liters flasker.

Flaskerne lægges i et kar på øvre dæk (indrammet af gul cirkel) og modtager her den naturlige variation i sollys. Karret gennemstrømmes konstant af havvand for at holde en naturlig havtemperatur.

C Flaskerne er lagt i poser, som kun lader 30 % lys slippe igennem, hvilket svarer til den lysmængde, der ville være ved den dybde, hvor vi tog prøverne fra.

D Hver anden dag tager vi prøver fra flaskerne (ca. 160 mL) og genfylder dem med havvand filtreret ved 0,2µm (herved filtreres alle organismer fra). På den måde får mikroorganismene "friskt vand" og vi får vandprøver til at analysere.



grupper. Ud fra resultaterne kunne vi også beregne, hvor stor en mængde opløst organisk kulstof bakterierne optager og sender videre gennem mikroorganismernes fødenet. Overraskende så vi, at selv i vintermåneder, hvor de større alger ikke vokser, er der alligevel en vækst af bakterier og encellede dyr. Altså cirkuleres betydelige mængder kulstof i mikroorganismernes fødenet hele året rundt.

Bakterier og det opløste kulstof

En ukendt faktor i havets biologiske pumpe er alle de opløste organiske kulstofholdige forbindelser, som flyder rundt i vandet. Det kan fx være aminosyrer, DNA, rester af cellevægge eller kulhydrater, som er sivet ud af eller som bliver frigivet, når celler dør. Alt dette kaldes opløst organisk kulstof, og tilsammen er mængden af dette kulstof mellem 40 og 100 gange større end det kulstof, der er bundet i de større organiske partikler såsom plankton og krill-fækalier. Den samlede mængde af opløst organisk kulstof i havet er lige så stor som mængden af CO₂ i atmosfæren.

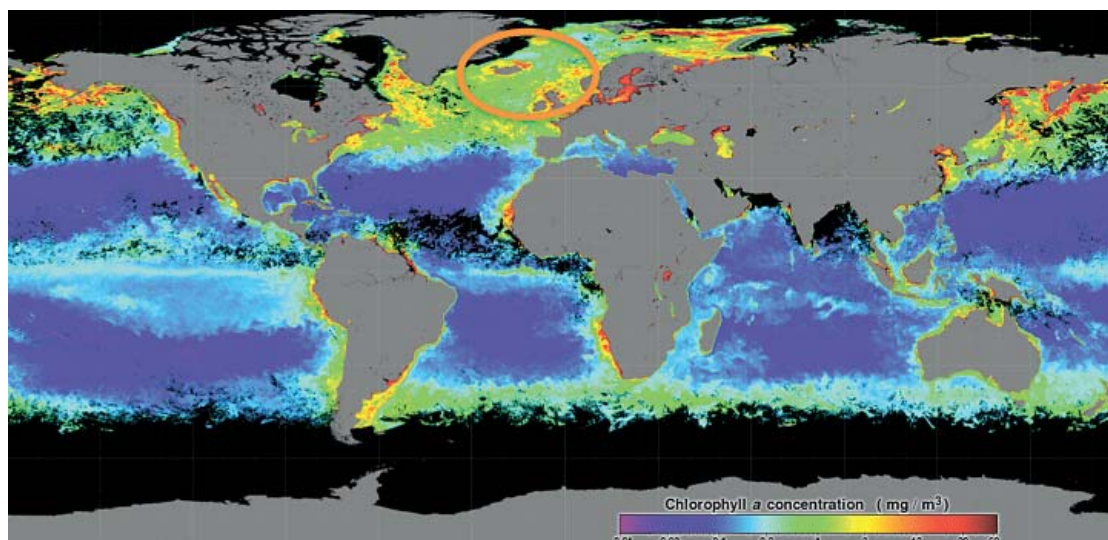
Bakterierne er de eneste organismer i havet, som kan optage og udnytte den store energipulje, der ligger i det opløste organiske kulstof. De er havets mest talrige organismer (1 million pr milliliter hav-

vand), og da opløst organisk kulstof findes overalt i vandet, findes bakterier også i hele vandsøjlen.

Opløst organisk kulstof består af mange typer kulstof, hvoraf kun ca. 20 % er let-omsætteligt for bakterierne. Det betyder, at de fleste bakterier i det dybe vand er mindre aktive end dem i overfladen, hvor der er mere let-omsætteligt opløst organisk kulstof. Langt det meste af det svært-omsættelige kulstof vil med tiden blive ført ned på havets bund. I Nordatlanten har man anslået, at opløst organisk kulstof kan opholde sig i 4000-6000 år før det bliver nedbrudt eller begravet i havbunden, dvs. det er så godt som trukket ud af jordens CO₂-regnskab.

Ud fra vores målinger af vandsøjlen kunne vi bl.a. se, at en øget algevækst ved overfladen gav en højere koncentration af opløst organisk kulstof, og dermed en stigning i antallet af både bakterier og små encellede dyr, som lever af at æde bakterier. Vi så altså en høj aktivitet hos mikroorganismer og dermed en svækkelse af den biologiske pumpe.

Bakteriernes rolle i forhold til den biologiske pumpe er dog langt fra entydig. Langt de fleste er afhængige af organisk kulstof som energikilde (man siger de er heterotrofe), og de står samlet set for den stør-



Havets planteplanktonmængde (vist som koncentrationen af klorofyll-a) fotograferet fra satellit i maj, 2012. Ekspeditionens fokusområde i Nordatlanten er indrammet af cirkel.

Kilde: NASA OceanColor



Det internationale samarbejde EURO-BASIN går ud på at opnå en bedre forståelse for Nordatlantens økosystemer og samspillet med klimaændringer. Ekspeditionen omtalt i artiklen foregik om bord på det næsten 100 m lange tyske forsknings-skib R.V. Meteor, og var den første af flere planlagte EURO-BASIN-ekspeditioner. Da vi var ude allerede fra marts måned, som er en af de mest stormfulde, mødte vi flere gange op til 6 m høje bølger, som kunne gøre det vanskeligt at arbejde, så forsøgsplanen måtte planlægges fra dag til dag afhængigt af vejret.

Foto: www.subseaworldnews.com

ste forbrænding af organisk materiale til CO_2 i havet. Derfor er de overordnet med til at modvirke en op-hobning af kulstof i havet. På den anden side dan-ner bakterierne hele grundlaget for, at der overho-vedet kan være så meget liv i havet, da de er et vig-tigt led i omsætningen af nærings-salte, som er for-sætning for, at algerne kan vokse år efter år.

Ligeledes kan de i kraft af deres evne til at udnytte det opløste organiske kulstof, sende energi videre op gennem fødekæden og således danne grundlag for liv dybt nede i vandet, hvor algerne ikke kan vokse.

Kan vi forstærke den biologiske pumpe?

Ligesom man på land forsøger at binde CO_2 ved at plante træer, har man i havet eksperimenteret med at forstærke den biologisk pumpe ved at øge alger-nes vækst. En måde at gøre det på er ved at gøde havet. For at kunne lave fotosyntese behøver algerne flere forskellige nærings-salte, som de optager fra havvandet. Ved stor algevækst bliver nærings-saltene brugt hurtigere end mikroorganismene kan nå at omsætte dem, hvilket begrænser eller helt stopper algevæksten.

I Nordatlanten er det næringsstoffet kvælstof, som er afgørende for hvor meget planktonalgerne

kan vokse. Ved Antarktis har det i mange havom-råder derimod vist sig at være jern, der er det begrænsende næringsstof. Ved at gøde havet med jern i nogle områder i Antarktis, har man kunnet understøtte en øget produktion hos algerne, og derved forøge optaget af kulstof fra atmosfæren og stimulere den biologiske pumpe. Det er imid-ler tid ikke uproblematisk at manipulere et økosy-tem. At tilføre ekstra næringsstoffer kan føre til opblomstring af giftige alger eller af alger med ringe fødekvalitet, hvilket vil være dårligt for øko-systemet. Og selvom havet måske ser relativt ens ud fra overfladen, uanset hvor man befinder sig i verden, så har vi at gøre med et yderst mangfol-digt økosystem, som derfor kan reagere uforudsig-eligt.

At forstå havets rolle i den globale kulstofbalance er et kæmpe puslespil. Kun med store projekter som EURO-BASIN får vi mulighed for at sætte vores viden sammen med andre forskeres, og får dermed en enestående mulighed for at samle de manglende brikker i Nordatlantens økosystem. Denne viden er i høj grad nødvendig for at vurdere styrken af den biologiske pumpe og om tiltag, som fx tilsætning af nærings-salte, rent faktisk kan få havet til at fort-sætte med at rydde op efter os.

Læs mere

Riisgaard K, Agersted MD, Jung-Madsen S, Swailethorp R & Nielsen TG (2011). Et hav i for-ændring. *Aktuel Naturvi-denskab* 2: 10-13.

Olesen, M. (2007). Den Biologiske Pumpe. *Aktuel Naturvidenskab* 3: 12-15.

Smetacek, V. og 29 andre forfattere (2012). Deep carbon export from a Southern Ocean iron-fertilized diatom bloom. *Nature* 487: 313-319.

På ekspeditionens hjem-meside: <http://deepconvectioncruise.wordpress.com/> kan man bl.a. kan se udviklingen i klorofyl fra satellitbilleder i løbet af toget.

Se animation af kulstof-kredsløbet: www.youtube.com/watch?v=OByqdUhWERk