**Havets kulstofpumper**

**Man taler populært om en biologisk og en fysisk pumpe.**



I havet findes der nogle store pumper, der transporterer CO2 ud af de øvre zoner, hvor det er tilgængeligt for planternes fotosyntese. Kulstof kan transporteres på flere former og pumperne kan fjerne kulstof fra kredsløbet i kortere eller længere tid.

Man taler populært om en biologisk og en fysisk pumpe. Ved den første er der en række planter og dyr involveret, mens der ved den anden pumpe primært er tale om, at en række fysiske processer borttransporterer kulstoffet.

I det følgende kan du læse om disse meget vigtige pumper, som blev studeret nøje under Galathea-togtet.

## Den biologiske CO2-pumpe

**Vandhenteren på Vædderen blev flittigt brugt til at bringe havets små fritlevende alger ombord, hvor forskerne brugte mange timer på at kvantificere og undersøge det planteplankton, der er det første afgørende led i havets fødekæder..**



**Alger synker mod bunden**
Algerne består hovedsageligt af kulstof. Når de synker fra overfladevandet til dybhavet, bærer de kulstoffet med sig. Der findes både gode og dårlige kulstoftransportører.

For at gøre det nemmere for os selv, deler vi planteplankton ind i overordnede grupper som kiselalger, grønalger, blågrønalger, furealger osv. Indenfor hver gruppe finder man enorme størrelsesforskelle, der svarer til forskellen mellem en mus og en elefant. Desuden er der forskel på de forskellige gruppers byggesten, hvor nogle har et skelet opbygget af kisel (SiO2), som kiselalgerne, og andre af kalciumkarbonat (CaCO3) som fx den lille kalkfurealge Emiliania huxleyi.

Byggestenene betyder noget for tyngden af algen og dermed også for, hvor hurtigt algen synker. Kalkflagellaten synker hurtigt, da kalk har en stor massefylde. Disse alger er derfor gode til at fjerne kulstof fra overfladevandet og transportere det ned i dybhavet.

Havet er et meget farligt sted at være for en lille alge. De prøver at beskytte sig mod græssere – dyr der spiser planteplankton, som eksempelvis dyreplankton (vandlopper og små fiskelarver). Da planteplankton ikke aktivt kan svømme fra deres fjender, har nogen af dem i stedet udviklet ekstreme udvækster, der får dem til at se store ud eller de har lange pigge, der gør dem mindre spiselige. Disse forskellige former har også stor indflydelse på algernes synkepotentiale og dermed også for deres evne til at fjerne kulstof fra overfladevandet.

Planteplankton er oftest så småt, at man ikke kan se det med det blotte øje. Alligevel kan det optræde i så overvældende koncentrationer, at man faktisk kan se det helt ude fra rummet og fange de høje koncentrationer i havet på et satellitbillede. Disse meget høje algekoncentrationer kalder vi for algeopblomstringer og de er ekstrem vigtige for havets evne til at optage CO2 og for den videre transport af kulstof i havet. Et af projekterne på Galathea 3 registrerede algeopblomstringer vha. satellitbilleder, se dem her.

Link til projekt om alger set fra rummet <http://virtuelgalathea3.dk/node/115>

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

**Fotosyntese og respiration**
Planteplankton optager CO2 via fotosyntese og omdanner det til organisk stof på samme måde som planterne på landjorden:

6CO2 + 6H2O + lysenergi→ C6H12O6 + 6O2

Vi kalder produktionen af det organiske stof dannet ved fotosyntese for primærproduktion.

Sollyset, som driver fotosyntesen i havet, aftager med dybden, fordi lyset absorberes af vandmolekyler, planter, dyr, bakterier og opløste stoffer i vandet. Vædderen krydsede klarvandede, næringsfattige oceaner hvor der var lys nok til at lave fotosyntese så langt ned som på flere hundrede meters dybde. I mere næringsrige farvande, som de danske, er der om sommeren på få meters dybde ikke lys nok til plantevækst.
Når planteplanktons fjerner CO2 fra vandet ved fotosyntese, bliver havet undermættet med CO2. Så optager havet mere CO2 fra atmosfæren.

Selvom havets planteplankton kun udgør ca. 1 % af jordens samlede plantebiomasse, optager det alligevel næsten halvdelen af den CO2, som årligt bliver fjernet fra atmosfæren ved fotosyntese.

Langt det meste af det fikserede CO2 frigives igen gennem respirationsprocesser. Det sker ved planternes egen respiration eller gennem respirationen hos de dyr og bakterier, som æder og nedbryder det organiske materiale, som planterne har produceret. Processen ser således ud:

C6H12O6 + 6O2 → 6CO2 + 6H2O + energi

Energien, der bliver dannet, bruges til organismernes livsprocesser, f.eks. vækst og vedligeholdelse. Bliver CO2 frigivet i de øvre vandlag, hvor der er lys, kan det genbruges igen og igen til ny primærproduktion.

**Store partikler synker hurtigt**
En mindre del, af det kulstof, som planterne fikserer, synker ud af den øvre, soloplyste del af oceanerne. Herved transporteres kulstof ud af de øverste dele af oceanerne og ned i dybhavet, væk fra atmosfæren. Vi kalder den transport for den biologiske pumpe.

Planteplankton, dyreplankton, større dyr og bakterier udgør delene i den biologiske pumpe. Den biologiske pumpe er indirekte med til at trække CO2 ud af atmosfæren. Det sker, når en strøm af partikler synker ud af den øvre del af oceanerne.

Planktonceller synker af sig selv – dog kun med ca. 1 meter per dag - men når de bliver spist, synker dyrenes fækalier (afføring) med op til 1000 meter per dag, fordi store partikler synker hurtigere end små. Døde og levende plankton-organismer, fækalier fra dyr og andre partikler klumper sig ofte sammen til større partikler, som vi kalder for marin sne. På videooptagelser fra dybhavet kan man se, hvordan den marine sne synker mod dybet.

Link til en videooptagelse med marin sne <http://galathea3.emu.dk/video/wmv/EMU%20Galathea%20Marint%20sne.html>

Store dele af de subtropiske og tropiske oceaner er permanent lagdelte. Solens stråler opvarmer de øverste få hundrede meter af havet, og overfladevandet bliver derfor lettere, end det kolde dybvand. Det giver en skarp adskillelse af de to vandlag. På grund af den permanente lagdeling blandes der ikke nye næringsstoffer op i de øvre lag fra de dybe dele af havet og der kommer derfor ikke nye næringsstoffer til planktonalgerne i de øvre vandlag. Og planteplankton behøver - sammen med lys og CO2 - næringsstoffer for at kunne vokse. Sådanne permanent lagdelte havområder bliver næringsfattige, lyset trænger langt ned og vandet ser helt blåt ud.

I næringsfattige områder fungerer den biologiske pumpe ikke særlig effektivt. Planktoncellerne er små her, fordi små celler bedre kan optage de små koncentrationer af næringsalte. De organismer, der spiser planteplankton er også små, og de laver små fækalier, der synker langsommere end store. Alt i alt betyder det, at de fleste partikler i disse havområder nedbrydes af bakterier i de øvre vandlag, inden de når at synke ret dybt.

I tempererede og polare områder er den biologiske pumpe meget mere effektiv. Overfladen af oceanerne varmes også op om sommeren. Men her køles overfladelagene ned om vinteren, og vinterstormene blander nye næringsstoffer op i overfladevandet. Produktionen af planteplankton er derfor høj om foråret og sommeren. Samtidig er planktoncellerne større i disse områder. De store celler synker hurtigere, dyrene, der spiser planktonet, er større – og deres fækalier er større. Generelt er områder med høj produktion karakteriseret af store planktonceller, relativt korte fødekæder og et stor udsynkning af organisk materiale.

Man antager, at kiselalger er de planktonalger, der er bedst til at trække CO2 fra atmosfæren ned i havets dybder. Kiselalgerne indeholder som navnet siger kisel. Algerne vokser hurtigt, når der er tilstrækkeligt med næringssalte og lys. Kiselalgerne ædes af dyreplankton som igen ædes af fiskelarver og fisk i en kort fødekæde.

Kiselalgerne er desuden relativt store og synker hurtigt, især fordi de også ofte indgår i klumper af marint sne. Helt nye undersøgelser langs Chiles kyst viser, at der i områder, hvor kiselalger dominerer, er en stor forskel mellem overfladevandets CO2-indhold og atmosfærens CO2-koncentration. Det betyder at overfladevandet er undermættet med CO2 og at disse områder derfor trækker mere CO2 fra atmosfæren ned i havet end i områder, der er domineret af småt plankton. Det giver grundlaget for en effektiv biologisk CO2-pumpe.

Det kulstof, som den biologiske pumpe transporterer ned i dybhavet eller helt til bunden, forbliver her i hundrede til tusinde år. Ja, under særlige forhold kan det gemmens i millioner af år i havbunden og omdannes til olie.

De fossile brændstoffer, som vi bruger til udvinding af energi i dag, blev dannet under helt særlige forhold, som var gældende millioner af år tilbage. Der sker ikke en løbende dannelse af fossile brændstoffer, som kan erstatte forbruget.

Når det biologiske materiale bliver nedbrudt i dybhavet, beriges vandet med uorganisk kulstof. På grund af det høje tryk og lave temperaturer kan dybvandet indeholde mere CO2 end overfladevandet. Når dybhavsvandet efter lang tid strømmer op til overfladen i de såkaldte opstrømningszoner, vil det derfor være overmættet og afgasse noget af den ekstraCO2 til atmosfæren.

## Den fysiske CO2-pumpe

**Forskerne på CO2 projektet havde travlt da vædderen krydsede Nordatlanten. I de arktiske områder skaber det kolde klima nogle særlige forhold i havet, som påvirker de globale havstrømme.**



Når det er tilstrækkelig koldt, dannes der havis, og når havvandet fryser, presses salt ud af isen og det nu tunge, salte havvand falder mod havbunden. Man kalder denne proces for dybvandsdannelse. Det kolde saltrige vand løber som en gigantisk havstrøm langs havbunden sydpå. Det kolde vand, der forsvinder oppe fra overfladen, erstattes af varmt overfladevand, der strømmer nordpå.

Dybvandsdannelsen er altså drivkraft for den såkaldte termohaline cirkulation, se link. Når det kolde vand synker til bunds transporteres der samtidig CO2 ned på flere kilometers dybde, hvor det er ude af kontakt med atmosfæren i hundredvis af år og processen har derfor stor indflydelse på drivhuseffekten.

Læs mere om den fysiske pumpe i projektet om Golfstrømmen <http://virtuelgalathea3.dk/node/279>

|  |  |
| --- | --- |
| [dme:image index=0/] | [dme:image index=1/] |
| [dme:image index=2/] | [dme:image index=3/] |

Der kan opløses mere gas i koldt vand end i varmt vand. Tænk fx på de bobler, som stiger op til overfladen i en gryde vand der bringes i kog. Jo koldere vandet er, des mere CO2 kan det indeholde. Det kolde vand ved polerne optager derfor typisk CO2 fra atmosfæren og indeholder mere CO2 end havene på lavere breddegrader.
Dybvandsdannelsen har altså den vigtige funktion, at den medvirker til at fjerne CO2 fra atmosfæren og dermed reducere drivhuseffekten. Sammen med vindsystemerne er den også med til at trække de globale havstrømme, som omfordeler den varme Jorden modtager fra solen.

De allernyeste forskningsresultater viser endvidere, at CO2 også fryser ud af havisen, når den dannes om efteråret. Kuldioxid løber med saltopløsningen mod isens underflade, og dette CO2 transporteres med det kolde, salte vand mod havets bund. Når havisen smelter om foråret, er vandet undermættet med CO2 optager derfor CO2 fra atmosfæren.

Også de store havstrømme er medvirkende til udveksling af CO2 mellem atmosfære og dybhav. Den vigtigste havstrøm i denne sammenhæng er Den antarktiske cirkumpolære Strøm, som løber hele vejen rundt om jorden nede i Det sydlige Ocean. Denne strøm trækker relativt varmt, salt vand op mod overfladen, og trækker ferskere CO2- rigt koldt vand ned i dybhavet. Der er videnskabelig uenighed om, hvorvidt denne CO2-transport fortsætter uændret, eller den er ved langsomt at gå i stå.

|  |
| --- |
|  |