



JAGTEN PÅ DEN FORSVUNDNE DRIVHUSGAS

Lattergas er en af de kraftigste af klodens drivhusgasser, og gassen ødelægger tilmed ozonlaget. Drivhusgassen bliver for en stor dels vedkommende produceret i havet, men nogle steder på Jorden mangler det i overfladevandet. Nu vil forskere opklare mysteriet.

Om forfatteren
Af Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com



DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Københavns Universitet, Henrik Grum Kjærgaard. Læs mere på www.dff.dk

Når snakken falder på klimaforandringer og drivhusgasser, er det svært at komme udenom CO₂.

Klimaforkæmpere, politikere, miljøorganisationer, forskere og firmaer taler alle sammen om CO₂-udledning, CO₂-kvoter, CO₂-niveauer i atmosfæren, CO₂-regulering, CO₂-det-ene-og-det-andet.

I alt den snak om CO₂ bliver det nogle gange overset, at der faktisk også findes andre drivhusgasser, som måske ikke er lige så betydningsfulde i aftrykket på den globale opvarmning som CO₂, men som alligevel ikke må ignoreres – især ikke hvis vi vil have et fuldstændigt overblik over, hvordan fremtiden kommer til at se ud med hensyn til

klimaet og de afledte effekter af global opvarmning.

En af disse drivhusgasser, som vi ikke må glemme, er dinitrogenoxid (N₂O), der også går under betegnelsen lattergas. N₂O er ikke bare en drivhusgas på niveau med CO₂, men faktisk en meget mere potent en af slagsen. Når det kommer til kapaciteten for at agere global opvarmer, er N₂O 300 gange stærkere som drivhusgas end CO₂. Samtidig nedbryder lattergas også ozonlaget med alle de negative effekter, som det har på både risikoen for udvikling af kræft og svækket immunforsvar hos mennesker samt destruering af afgrøder og det marine økosystem.

Nej, når vi taler om global opvarm-

ning, må vi ikke fokusere så meget på CO₂, at vi glemmer N₂O.

En af de forskere, der er med til at sikre, at N₂O er på dagsordenen, når eksempelvis klimamodeller skal udvikles, eller når der skal træffes beslutninger og laves fremskrivningsmodeller i regi af FN's klimapanel IPCC, er lektor Carolin Löscher fra Danish Institute for Advanced Study ved Syddansk Universitet.

Carolin Löscher har allerede gjort flere uhyggeligt interessante opdagelser vedrørende den globale produktion af N₂O, og hun har for nyligt modtaget en stor forskningsbevilling fra Danmarks Frie Forskningsfond til at finde ud af, hvilken rolle havet og forskellige biologier



Om forskeren

Carolín Löscher er lektor i oceanisk biogeokemi ved Danish Institute for Advanced Study på Syddansk Universitet. Hun er oprindeligt uddannet fra University of Kiel, hvorfra hun fik sin ph.d. i biologi og havforskning. Efterfølgende har hun arbejdet i flere år ved Helmholtz Center for Ocean Research- GEOMAR, hvor hun studerede havets nitrogen- og kulstofcyklusser ved hjælp af molekylære-, biogeokemiske- og modelbaserede værktøjer, ligesom hun var involveret i flere forskningssekspeditioner.



Carolín Löschers forskningsinteresser er centreret omkring forståelsen af, hvordan mikrober påvirker faktorer med indflydelse på klimaet, og hvordan klimaet har indflydelse på selvsamme mikrober. Tanken er den, at hvis klimaet ændrer sig, vil det ikke bare gå ud over fiskene og pattedyrene i havet, men også mikroberne, hvilket kan få alvorlige konsekvenser for deres bidrag til at opretholde den globale kulstof- og nitrogenbalance.

Carolín Löschers har gennem årene modtaget flere priser for sin forskning. Hun er gift og lever med sine to døtre i Odense.

ske processer i havet har for det globale N_2O -regnskab og dermed den planet og det klima, som vores generation efterlader til generationerne efter os.

»Min interesse inden for feltet er, at jeg bekymrer mig om havet, og en tredjedel af verdens N_2O bliver produceret i netop havet. Der er et stort behov for at forstå, hvordan N_2O bliver produceret i havet og i hvilke mængder, og hvordan det også bliver optaget af havet fra atmosfæren. Denne viden er vigtig at inkludere i de klimamodeller, som skal forudsige, hvordan verden kommer til at se ud i fremtiden,« fortæller Carolín Löscher.

Et produkt af biokemiske processer

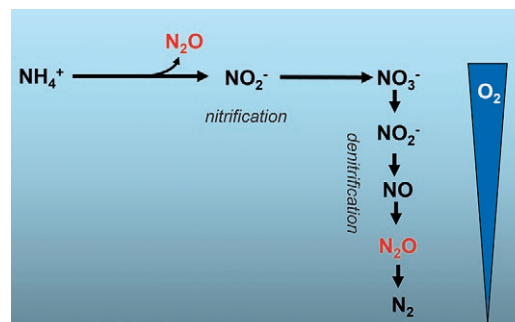
Carolín Löscher er særligt interesseret i at forstå de processer, hvor med bakterier og arkæer producerer N_2O . Begge former for mikrober kan ad forskellige veje danne N_2O , som bliver frigivet til omgivelserne, og hvis de omgivelser er havoverfladen, bliver drivhusgassen frigivet der.

De to mest relevante processer hedder henholdsvis nitrifikation og denitrifikation.

- Ved nitrifikation oxideres ammonium og ammoniak via iltning til nitrit (NO_2^-), som efterfølgende bliver oxideret ved yderligere iltning til nitrat (NO_3^-). Disse to processer foregår ofte i to forskellige organismer, og et biprodukt af nitrifikationen er N_2O .
- Ved denitrifikation foregår hele processen omvendt, og nitrat bliver reduceret til nitrit og til sidst til nitrogen. Et produkt i denne proces er ligeledes N_2O .

»Det interessante er, at to processer kan danne N_2O og sende det ud i atmosfæren, men faktisk kan bakterier og arkæer gennem denitrifikation og afhængigt af ligevægtsforholdet også trække N_2O ud af atmosfæren igen,« forklarer Carolín Löscher.

Carolín Löschers tidligere forskning har blandt andet identificeret en produktionsvej af N_2O i arkæer i havet.



Skematisk illustration af de to kendte reaktionsveje, der producerer N_2O . Nitrifikation er en oxidation fra ammonium (NH_4^+) til nitrit (NO_2^-) og derefter til nitrat (NO_3^-). Det kan kun ske ved tilstedeværelsen af oxygen, og N_2O er et biprodukt i denne proces. Denitrifikation er en reduktion af nitrat til nitrit, nitrogenoxid (NO), N_2O og endelig til N_2 -gas. I denne proces kan N_2O enten blive produceret eller forbrugt. Denitrifikation kan dog kun ske, hvis der ikke er oxygen til stede, og derfor forventer man ikke, at denne proces vil kunne forbruge N_2O i overfladevandet i oceanerne.

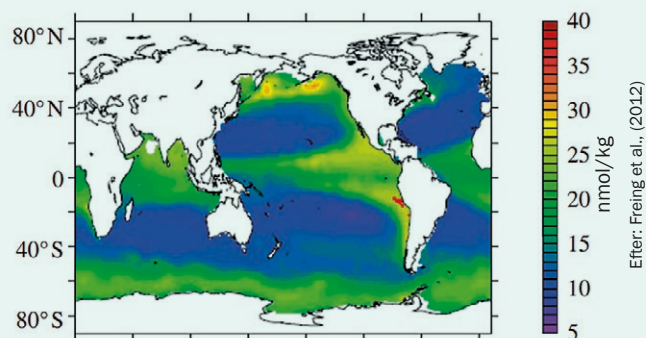
Havets N_2O er ikke i balance

Netop når det handler om havet, giver et faktum i produktionen af N_2O i havoverfladen forskere og klimamodeludviklere hovedpine. Kigger man på et verdenskort over forekomsten af N_2O i havoverfladen, er drivhusgassen forholdsvis ligeligt fordelt ud over kloden, bortset fra nogle specifikke steder, hvor

Her er koncentrationen af N₂O i havoverfladen overraskende lav

Forskere har i mange år vidst, at der forskellige steder på Jorden er mindre N₂O i havets overfladevand, end der burde være. Indtil nu har årsagen været ukendt, men forskere er begyndt at interessere sig mere og mere for emnet, i takt med at det i stigende grad står lysende klart, at udvekslingen af N₂O mellem havet og atmosfæren i disse områder kan have betydning for den globale opvarmning og de klimamodeller, som skal forudsige, hvordan verden ser ud i morgen og om 100 år.

Mange mennesker er formentlig ikke bevidste om den betydning, som N₂O har for klimaet, og det skal retfærdigvis sige, at FN's internationale klimapanel IPCC heller ikke er haft meget fokus på drivhusgassen før i tiden. Det er dog ændret på det seneste, hvor N₂O er gået fra ikke at være tillagt større betydning i det store klimaregnskab til i dag at være anerkendt som en meget vigtig faktor. Det gør forskning i effekterne af og på koncentrationen af N₂O i atmosfæren, såvel som i havet, vigtigere, end det nogensinde har været før.



Kortet viser den estimerede koncentration af N₂O i oceanerne (nmol/kg) i 200 meters dybde. Den blå farve repræsenterer områder, hvor der potentielt "forsvinder" N₂O på grund af endnu ikke identificerede processer.

der er mindre N₂O i havoverfladen, end man skulle forvente. Det bliver meget simpelt fjernet fra havet via mekanismer, som forskere ikke har styr på.

Disse områder med N₂O-underskud er blandt andet det Arktiske hav, den sydlige del af Østersøen og midten af Atlanterhavet. Når forskere tager prøver fra havoverfladen i disse områder, er der simpelthen ikke den mængde N₂O, som forskerne forventer. Det giver ingen mening, og forskerne har ikke en god forklaring på fænomenet.

Samtidig er det utroligt vigtigt at få styr på, hvor verdens mest potente drivhusgas forsvinder hen, når den ikke er der, hvor den burde være, og hvilken betydning det potentielt kan have for global opvarmning og de modeller, som man bruger til at regne på den. Når der er mindre N₂O i overfladevandet, vil ligevægten mellem havet og atmosfæren uundgåeligt trække N₂O ud af luften og dermed have en effekt på drivhusgassens koncentration i atmosfæren og den tilhørende effekt på det globale klima.

Carolyn Löscher forklarer, at mysteriet har fået hende og hendes kollegaer til at klø sig i hovedbunden.

»Kun én proces er kendt for at kunne fjerne N₂O, og det er denitrifikation, men den er ikke umiddelbart relevant at tale om i forbindelse med de lavere niveauer af N₂O i havoverfladen rundt om på Jorden. Denitrifikation foregår nemlig kun i mangel på ilt, og ilt er der rigeligt af i havoverfladen, uanset hvor på planeten man kigger hen,« siger hun.

Forskeren forklarer, at der kan være forskellige forklaringer på, at koncentrationen af N₂O er reduceret i overfladen af havet forskellige steder på Jorden.

»Enten skyldes det, at vi ikke forstår denitrifikation korrekt, eller at en anden proces, som vi ikke kender til endnu, er på spil,« siger Carolyn Löscher.

Formentlig er en biologisk proces på spil

I sin forskning prøver Carolyn Löscher at identificere den mystiske faktor, der leder til lavere koncentrationer af N₂O i havoverfladen forskellige steder på Jorden.

Hun fortæller, at havoverfladens koncentration af N₂O burde være i ligevægt med både vandet under havoverfladen og atmosfæren, men at den ikke er det, hvilket tyder på,

at N₂O på en eller anden måde bliver fjernet.

Man kunne måske forestille sig, at UV-stråling spillede ind i fjernelsen af N₂O fra havoverfladevandet, men det ville ikke give det patchwork-mønster, som forskerne har identificeret. Hvis UV-stråling fjernede N₂O fra havoverfladen, ville det ske over hele kloden og ikke kun hist og her.

»Det får os til at konkludere, at patchwork-mønsteret formentlig er resultatet af biologiske processer. Før vi kan forstå dem, er det dog vigtigt at finde ud af, hvordan vi kan kvantificere tabet af N₂O, samtidig med at vi skal udvikle målemetoder til at finde ud af, hvad der sker, når N₂O forsvinder. Det er den eneste måde at forstå ubalancen i den ligevægt, som burde finde sted i havoverfladen,« forklarer Carolyn Löscher.

Mærket N₂O er en sladrehank

I forskningsarbejdet indsamler Carolyn Löscher med sine kollegaer overfladevand fra de forskellige zoner, hvor koncentrationen af N₂O i havet er lavere end forventet. Prøverne tager de hver måned for at følge, hvordan koncentrationen af N₂O ændrer sig over tid afhængigt af måneden og forekomsten af

givne mikrober i overfladevandet. Ændrer koncentrationen af N_2O sig i takt med koncentration af givne mikrober, kan det være en indikation på, hvem eller hvad der er ansvarlig for at tage N_2O ud af havvandet.

Fra målestationen i den sydlige af Østersøen har forskerne faktisk prøver fra de seneste 50 år, hvilket giver dem en unik mulighed for at studere fænomenet over lange perioder.

Med prøverne i hånden og i laboratoriet skal forskerne undersøge de potentielt set relevante bakterier til bunds for at finde ud af, om og hvordan de fjerner N_2O fra omgivelserne. Forskerne gør meget simpelt det, at de tilføjer isotoper af N_2O til det vand, som mikroberne lever i. Herefter kan forskerne følge, hvor de mærkede molekyler ender hen. Ender de i mikrobernes celler eller i nitrit eller nitrat, fortæller det forskerne noget om de potentielle metaboliske veje, hvormed drivhusgassen bliver omdannet til det ene eller andet:

Ender det mærkede nitrogen i gas i form af N_2 , tyder det på, at denitrifikation er på spil, mens inkorporering af det radioaktivt ladede nitrogen i cellerne peger på helt nye processer for omdannelsen af N_2O til noget andet. Ender det mærkede nitrogen i nitrat, peger det på, at nitrifikation er på færde.

»Ud fra dette kan vi identificere, om der er tale om denitrifikation, selv ved tilstedeværelsen af ilt, om der er tale om fjernelse af N_2O gennem nitrifikation via en proces, som vi ikke kender til, eller om der er tale om en helt anden biologisk reaktion, som vi endnu ikke har forstået,« fortæller Carolin Löscher.

DNA-analyser gør forskere klogere på mikroberne

Ydermere vil forskerne også forstå, hvorfor mikroberne gør, som de gør, og hvad det har af betydning for dem og deres omgivelser.

En del af det forskningsarbejde går

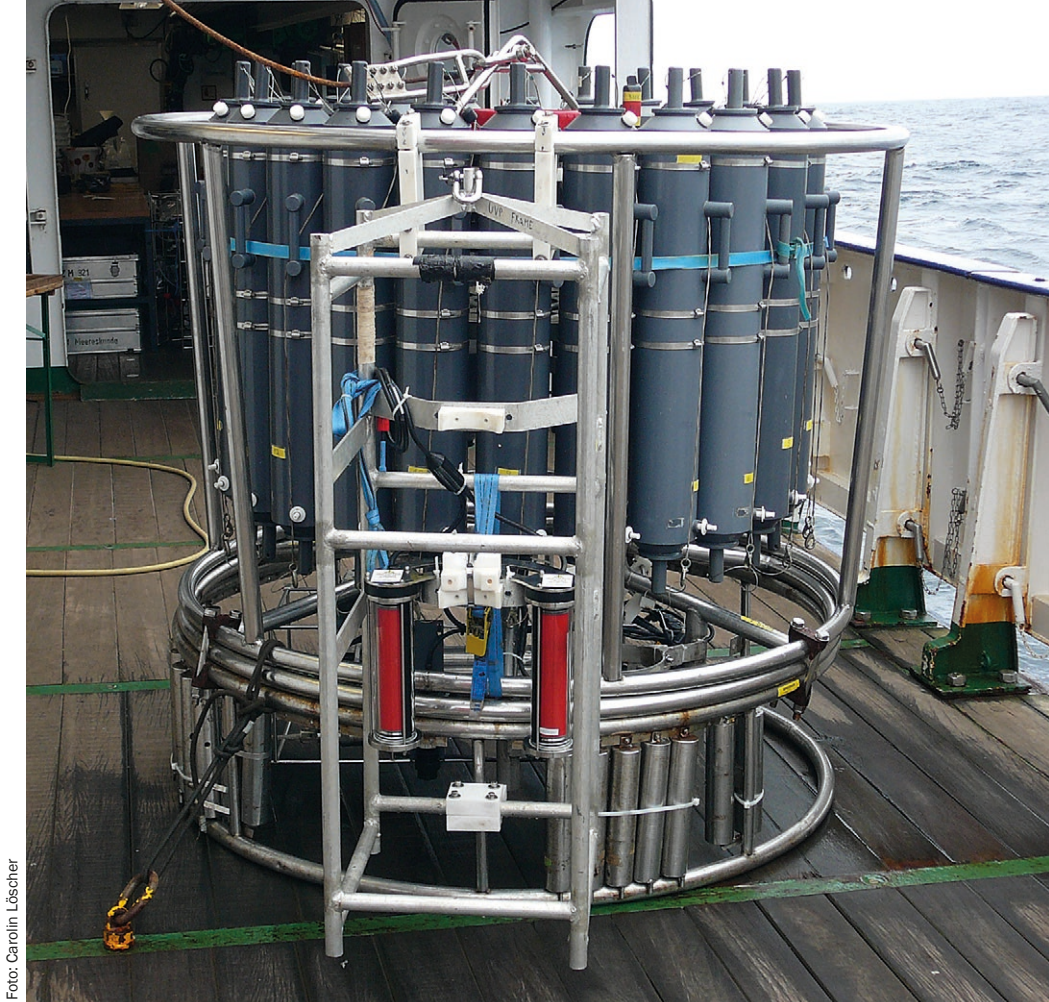


Foto: Carolin Löscher

Havet og klimaet

Verdens have og oceaner er drivkraften i det globale klima og svinger dermed også taktstokken i de klimaforandringer, som foregår lige nu og her. Verdens have dækker 70 % af Jordens overflade og udgør på den måde et gigantisk areal, der konstant udveksler varme, fugt, kulstof og nitrogen med atmosfæren, hvilket er med til at drive de langsomme, men alligevel ustoppelige, forandringer i klimaet på månedsbais, årsbasis og over årtusinderne. Disse faktorer har ikke bare betydning for, om det er varmt i dag eller i morgen, eller om sommeren kommer lidt tidligere på året. De har betydning for alt og alle, der lever på planeten.

Havenes indflydelse på klimaet sker blandt andet gennem optag af solstråling og frigivelse af varme, som er med til at drive den atmosfæriske cirkulation. Optag af solstråling og omdannelsen af strålingen til varme er med til at sikre, at havet kan frigive varme til Jorden året rundt, så der ikke er så glohedt eller iskoldt på tidspunkter af året, at intet kan leve her. Havene er på den måde klodens termostat. Havene frigiver også aerosoler til atmosfæren, hvilket er med til at danne fundamentet for skydannelse, ligesom vanddamp fra havene på et senere tidspunkt falder over land som regn. Havene optager også enorme mængder CO_2 fra atmosfæren og gemmer det væk i vandmasserne i millioner af år.

Havenes indflydelse på det globale klima sker gennem både fysiske, kemiske og biologiske processer. Derudover har de fysiske, kemiske og biologiske processer indflydelse på hinanden og danner samlet set et komplekst system af afhængighed, som mennesket med afbrændingen af fossile brændstoffer er ved at disrupte. Det er som at spille Klodsmajor med klimaet, når vi bringer de biologiske eller kemiske processer ud af balance ved at ændre på den atmosfæriske koncentration af CO_2 . Det vil alt andet lige have indflydelse på de biologiske, kemiske og fysiske processer i havet, der som tidligere fortalt har betydning for alt og alle på Jorden.

↑ En vandprøvetager som samtidigt måler ledningsevne, temperatur og dybde. Salt- og iltindhold registres også sammen med klorofylindholdet. Prøvetageren kan klare flere tusinde meters vanddybde.



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Vandprøver, hvor forskerne måler forskellige biogeokemiske parametre sammen med N_2O . Beholderne er lufttætte, så der ikke sker udveksling med atmosfæren.
Foto: Carolin Löscher

Videre læsning

Freitag, A. et al (2012): Global oceanic production of nitrous oxide, Phil. Trans. R. Soc. B 367, 1245–1255, doi:10.1098/rstb.2011.0360.



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK



derfor ud på at sekventere arvematerialet i de relevante mikrober for at afdække, hvilke type organismer der er tale om, og hvad de rummer af biologi. Det vil give forskerne et indblik i ikke bare, hvordan mikroberne trækker N_2O ud af havoverfladen, men også hvorfor de gør det.

Carolin Löscher forventer, at hun med forskningen vil være i stand til at etablere en forståelse for et link mellem mikrober i havet og udvekslingen af N_2O mellem havet og atmosfæren. Denne viden vil være kritisk i forhold til at kunne lave korrekte forudsigelser vedrøren-

de fremtidens klima. Det vil formentlig også involvere beskrivelsen af en del af den globale kvælstofbalance, som ingen førhen har haft kendskab til.

»Finder vi de relevante mikrober og biokemiske reaktioner for omdannelsen af N_2O , vil det ændre på nogle paradigmer i vores forståelse af, hvad der sker i havoverfladen, og hvordan det påvirker klimaet,« siger Carolin Löscher.

Opsigtsvækkende fund

Faktisk er det sådan, at Carolin Löscher med sine kollegaer allerede er kommet frem til de første erkendelser, som de dog af hensyn til fremtidig publicering endnu ikke kan løfte sløret for detaljerne i. Hun vil dog gerne fortælle, at resultaterne peger i retning af, at mere end én proces er involveret i fjernelsen af N_2O fra overfladevandet rundt om på Jorden. Faktisk ser det ud til, at både denitrifikation og inkorporering af nitrogen i mikrober spiller en rolle.

Hun forklarer dog også, at det indtil videre kun er indikationer, og at forskerne nu er ved at kvantificere fundet for at finde ud af, hvilken proces der spiller den vigtigste rolle.

»Og så har vi indtil videre kun identificeret det i Østersøen, hvorfra det meste af vores data indtil videre kommer fra. Derfor er vi også meget interesserede i at finde ud af, om de samme mikrober spiller en rolle i omdannelsen af N_2O i andre have, eller om andre mekanismer er på spil. Vi er kommet langt, siden projektet startede i januar,« siger Carolin Löscher. ■

SDU
Ingeniøruddannelserne

sdu.dk/ing #sduing

GO
Go Get IT Girls

Hacking og Cybersikkerhed på programmet

Den 28. september 17.00-19.00 afholder SDU et supersejt event på Det Tekniske Fakultet. Temaet er hacking og cybersikkerhed. Deltagerne vil blive introduceret til metoder og værktøjer som hackere bruger og de vil lære at bruge den viden til selv at hacke sig ind på en lille computer i ægte Lisbeth Salander style. Og så vil vi lære dem, hvordan at de beskytter sig selv imod hacking.

Spred ordet til dine elever og opfordre dem til at tilmelde sig inden den 25. september. Og hey - måske de kan lokkes med pizza og drikke? Det er i hvert fald også en del af programmet.

For mere information og tilmelding www.sdu.dk/gogirls

Ved spørgsmål, tøv ikke med at kontakte os på:

65 50 73 34 eller mhoy@tek.sdu.dk