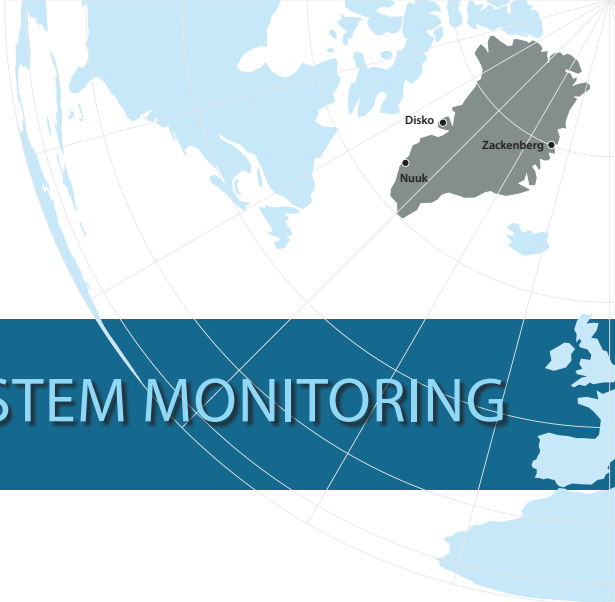


GEM



GREENLAND ECOSYSTEM MONITORING

25

års jubilæum

for indsamling af data fra den grønlandske natur



FOTO: KATRINE RAUNDRUP



FOTO: KIRSTINE SKOV



FOTO: KATRINE RAUNDRUP

GEM-programmet (Greenland Ecosystem Monitoring) kan i år fejre 25 års jubilæum for indsamling af data fra den grønlandske natur

Programmet undersøger effekterne af klimaforandringerne fra Højarktis ved Zackenberg i Nordøstgrønland til Lavarktis ved Disko og Nuuk.

De lange data-tidsserier udgør det mest omfattende overvågningsprogram i Arktis.

GEM-programmet består af fem delprogrammer:

- KlimaBasis, der fokuserer på klima og hydrologi
- GeoBasis der fokuserer på måling af fysiske og kemiske forhold på land
- GlasioBasis der fokuserer på gletsjere og afsmeltning
- BioBasis der fokuserer plante og dyreliv på land og i ferskvand
- MarinBasis der fokuserer biologiske, fysiske og kemiske forhold i havet langs kysten

Programmet er tværfagligt med eksperter fra forskellige grønlandske og danske institutioner herunder Asiaq, Grønlands Naturinstitut, Københavns Universitet, Aarhus Universitet, Danmarks Tekniske Universitet og GEUS (De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland).

Hæftet bygger på en artikelserie, der blev bragt i den grønlandske avis, Sermitsiaq, gennem sommeren 2021.

Den første artikel beskriver GEM-programmet overordnet. De efterfølgende artikler dykker ned forskningsresultater fra hvert af de fem delprogrammer.



FOTO: MALIN AHLBÄCK

Greenland Ecosystem Monitoring Programme

Udgivet: August 2021

Udgiver: GEM

Trykkeri: Rosendahls

Layout: Tinna Christensen





FOTO: CHARLOTTE SIGSGAARD

INDHOLD

25 ÅRS DATA DOKUMENTERER FORANDRINGER I ARKTIS	6
MOSKUSOKSENS VÆRSTE FJENDE ER VINTRE MED MEGET SNE	12
MERE SNE BREMSER GLETSJERNES AFSMELTNING	16
TRODS FROST OG SNE: DEN ARKTISKE TUNDRA FRIGIVER METAN ÅRET RUNDT	20
KOBBEFJORD FORTÆLLER OM VANDMASSERNE VED GRØNLANDS KYST	24
NI DAGES FEST UNDER ISEN: SMÅ ALGER, DER LEVER BÅDE SOM DYR OG PLANTER, BOOSTER LIVET I DE ARKTISKE FJORDE	28

25 ÅRS DATA DOKUMENTERER FORANDRINGER I ARKTIS

Temperaturen stiger langt hurtigere i Arktis, end vi troede for blot 5-10 år siden. Det påvirker naturen i Arktis. Budskabet fra forskerne var klart til forårets møde i Arktisk Råd, hvor ministre fra alle de arktiske nationer var samlet. Med målinger, der dækker de sidste 25 års udvikling i den Grønlandske natur, har forskerne opbygget en solid indsigt i den arktiske tilstand.

Af Signe Høgslund og Peter Bondo Christensen

Det er is, sne og kulde, der svinger taktstokken over naturen i Arktis. Det er tydeligt for enhver, der har krydset polarcirklen. Men der er nye toner på vej i den arktiske natur – både på land og i havet.



Aktiviteterne i Zackenberg begyndte for alvor i 1995, hvor det første hold forskere og logistikere boede under primitive forhold i opsatte telte. Det blev startskuddet til GEM-programmet, der nu for 25. år i træk leverer data om natur og klima i Grønland. FOTO: HENNING THING

“Da vi begyndte vores målinger for 25 år siden, forudså ingen, at vi her i år skulle fortælle Arktisk Råd, at temperaturen nu stiger tre gange hurtigere i Arktis i forhold til resten af verden,” fortæller Torben Røjle Christensen, der er professor ved Arktisk Forskningscenter og Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, og som står i spidsen for GEM – Greenland Ecosystem Monitoring.

Men sådan er det. Med 25 års uafbrudte data i hånden fra GEM-programmet har forskerne fået en uhyre grundig viden om udviklingen i klimaet i Grønland, og hvordan naturen reagerer på forandringerne både på land, i søer, fjorde og havet.

Upåvirket af mennesker

I 1986 udklækkede en gruppe forskere ved Zoologisk museum på Københavns Universitet den ide at etablere et længerevarende, tværvideenskabeligt undersøgelsesprojekt i Nordøstgrønland med det formål at måle og indsamle lange tidsserier af det fysiske og biologiske miljø.

Uden forskerne selv vidste det, blev det grundlaget for at dokumentere effekten af et begreb, man knapt kendte til på det tidspunkt: Klimaforandringer.

Ideen vandt så meget opbakning at en håndfuld forskere fem år senere, i 1991, drog nordpå og udvalgte området ved Zackenberg som særlig egnet til systematiske undersøgelser af naturen i Højarktis.

Her, 450 km nord for den nærmeste bebyggelse på østkysten af Grønland – Iltoqqortoormiit – kunne forskerne undersøge grundtilstanden af et typisk arktisk økosystem, der stort set var upåvirket af mennesker.

Og i 1995 kastede Zackenberg-bjerget for første gang sin takkede skygge over forskernes telte. Her på tundraen under bjerget blandt små, ankelhøje pilebuske skærmede få millimeter teltdug soveplads og laboratorie for vind og vejr. Og her blev de første datapunkter sat i de grafer, vi i dag ser på, når vi skal forstå udviklingen i Arktis.

Siden da er programmet vokset, så det nu strækker sig over økosystemer langs en klimagradiant fra den beboede del af Lavarktis i Vestgrønland til det ubeboede Højarktis i Nordøstgrønland. Foruden Zackenberg er der nu forskningsknudepunkter ved Nuuk og på Disko.

Lange tidsserier afslører ændringer

De små pilebuske ved Zackenberg Forskningsstation er mere end 90 år gamle. De har stået her længe før forskerne ankom og har oplevet hvordan rytmen i den arktiske natur har ændret sig gennem deres levealder.

Pilebuskene ser ud til at tilpasse sig, men hvad med alle de andre beboere i den arktiske natur? Vadefuglene eksempelvis. De overvintrer så langt væk som Sydafrika. Ved de, at foråret nu kommer tidligere i Nordøstgrønland og hvordan timer de rejsen tilbage nord på?

Det er nogle af de spørgsmål forskerne bag GEM-programmet søger svar på ved systematisk, år efter år, at holde øje med naturen.

“At følge naturens forandring i Arktis kan en gang i mellem føles som at stå og se på urskivens store visser. Vi måler i flere år og ser kun at tingene flytter sig svagt, men er man tålmodig og lader tiden gå, tegner der sig et billede af ændringer i systemerne,” siger Torben Røjle Christensen.

Ændringer, der kan være svære at observere fra et år til et andet, træder tydeligt frem i de lange tidsserier. Og det er helt nødvendige input til de klimamodeller, der forudsiger fremtidens klima og effekterne af klimaforandringerne.

Mindre permafrost og længere isfri periode vækker politikere

Permafrosten er vigtig for den arktiske natur. Og den rør på sig. Midt på sommeren må man år efter år grave dybere og dybere for at nå ned til den permanent frosne jord i Nordøstgrønland.

I midten af 90'erne lå det frosne lag i ca. en halv meters dybde. Nu skal man et godt spadestik dybere for at finde den hårdt frosne tundra, nemlig ned i næsten én meters dybde.

Den ændrede fryse-tø dynamik dirigerer bl.a. en ny rytme i udslippet af den aggressive drivhusgas metan fra tundraen. Mere metan i atmosfæren får den globale temperatur til at stige yderligere og påvirker derfor hele kloden.

Også i fjordene ændrer årets rytme sig. Hver vinter og forår holder isen fjorden i et jerngreb indtil den dag, hvor isen bryder op og fjordens hvide låg forsvinder.

Det er startskuddet til den korte hektiske sommer i fjorden, hvor lyset driver hele fødekæden, før isen atter lukker til.

GEM-programmet måler på forholdene i luften, på land, i isen, i søer og vandløb samt i havet ved Disko, Zackenberg og Nuuk.

FOTO: KIRSTY LANGLEY



Men den isfrie periode bliver længere og længere. Alene gennem de sidste 70 år, hvor isens kommen og gåen er registreret i Young Sund ved Daneborg er udviklingen markant.

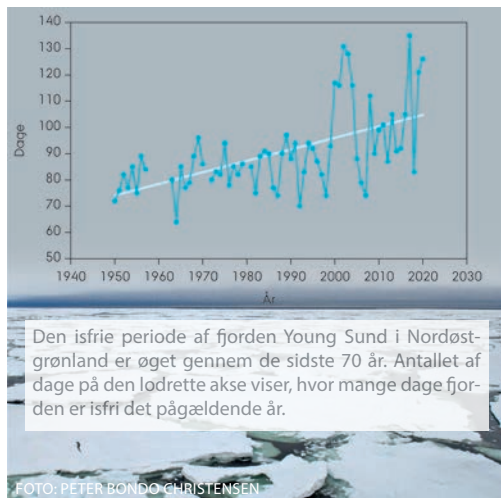
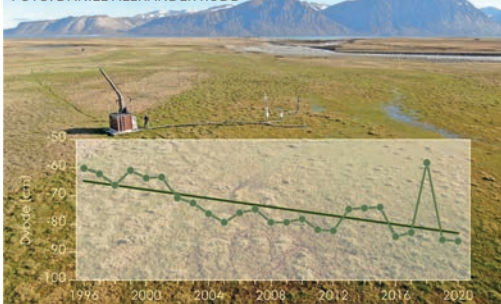
Samtidig er der tegn på, at der kommer mere ferskvand ud i de Grønlandske fjorde, og forskerne følger nu med i, om biologien i fjorden svinger ind i en anden rytme med andre arter og ændrede mængder af alger og dyr.

Sådanne data, som indsamles af GEM er helt centrale for at opfylde Kongerigets forpligtelser i forhold til Arktisk Råds overvågning af miljø, klima (Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP) og biodiversitet (Conservation of Arctic Flora and Fauna, CAFF). Der er derfor en direkte linje fra de målinger, som GEM-programmet foretager, til rapporterne, der ligger på bordet hos Arktisk Råd.

Udenrigsminister Jeppe Kofod, der deltog i mødet i Arktisk Råd, understreger at rådet har forstået alvoren bag forskerne mange data.

“De viser, hvor gennemgribende alvorlige og udfordrende klimaforandringerne er. Det har enorme konsekvenser for natur og miljø, for biodiversitet og dyreliv og for menneskenes mulighed for at bo og leve i det arktiske område,” siger Jeppe Kofod.

FOTO: DANIEL ALEXANDER RUDD



Jeppe Kofod peger på at resultaterne er et klokkeklart kald til resten af verden om at vi nu skal sikre klimakampen og sikre at målene i Paris-aftalen bliver efterlevet, så landene leverer deres reduktioner af klimagasserne.

“Det er bestemt en løftet pegefinger til alle os i Arktisk Råd, men det er også en løftet pegefinger til resten af verden. Det, vi ser ind i i Arktis, er en klimakrise, der også rammer resten af verden,” siger Jeppe Kofod.

Huller i viden om klimaforandringerne

Arktisk Råd udgiver de såkaldte AMAP-rapporter. Og AMAP-rapporten fra rådsmødet i maj var ikke optimistisk læsning.

For ti år siden forudsagde de bedste klimamodeller, der dengang fandtes, at temperaturen i Arktis ville

Det lag af tundraen, der permanent har permafrost, kravler dybere og dybere ned i tundraen i Nordøstgrønland. Den lodrette akse viser, hvor mange cm nede permafrosten findes i jorden om sommeren.



Automatiske målestationer sikrer data året rundt også gennem perioder, hvor det logistisk er svært for forskerne at nå frem. FOTO: ANDREAS AHLSTROM

øges dobbelt så hurtigt som i resten af verden. Men det har vist sig ikke at holde stik.

De sidste 50 år er temperaturen steget med 3,1 grad i Arktis i mens den i resten af verden er øget med ca. 1 grad – altså er stigningen foregået tre gange så hurtigt i Arktis.

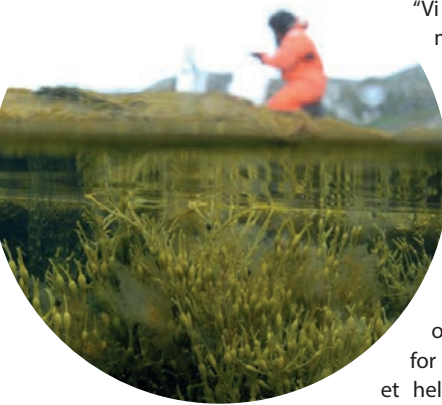
“Den nye AMAP rapport, der blev offentliggjort til Arktisk Rådsmøde, viste tydeligt, at der er huller i vores viden om klimaforandringerne. Klimamodellerne må justeres, så de kan simulere den temperaturstigning der faktisk foregår,” understreger Torben Røjle Christensen.

GEM overvågningen af den arktiske natur bevæger sig bl.a. derfor nu ind i en ny fase med stort fokus på

at automatisere overvågningen og at dække større arealer. Her er ny teknologi nøglen til at producere mere detaljerede input til klimamodellerne.

Fra rummet til klimamodellernes maskinrum

Satellitten Terra passerer hver dag over Disko Bugten 705 kilometers højde og sender satellitbilleder til GEM-forskernes computer. Foran én af computeren sidder Andreas Westergaard-Nielsen, adjunkt ved Københavns Universitet, og behandler billederne. Ud fra billedmaterialet og en højdemodel kan han give bud på hvor fugtig jorden er i området hver dag. Det er en vigtig information fordi jordens fugtighed bl.a. er afgørende for udslip af drivhusgasser.



I kystvandene ved Nuuk og Disko måler forskerne bl.a. på, hvor meget de store alger vokser og kan sammenholde det med, hvor lang den isfrie periode er det pågældende år.

FOTO: PETER BONDO CHRISTENSEN

“Vi har gode punkt-målinger rundt om i landskabet i vores tidsserier, og dem skal vi nu supplere med målinger fra satellitter. Det gør os i stand til at måle over større områder, og derfor er satellitterne et helt unikt værktøj,” fortæller Andreas Westergaard-Nielsen.

‘Remote sensing’ vha. satellitter er en vigtig ny tilføjelse til GEM-programmet. Der ligger en stor op-

gave forude med at opskalere de målinger, der hvert år foretages på GEM-programmets tre hovedlokaliteter i Zackenberg i Nordøstgrønland, ved Nuuk og ved Disko.

“Tidsserierne fortsættes, så tendenserne kan følges, men samtidig vil vi kunne hente mere information ud af vores punkt-data ved at koble dem med satellitdata og automatiserede målestationer, der nu placeres flere steder i Grønland,” fortæller Torben Røjle Christensen.

Er den arktiske natur omstillingsparat?

GEM-programmet har beskrevet nye toner i den arktiske natur. Som noder har hvert datapunkt bidraget til at indfange naturens nye rytme og sætte den på formel.

Og bag hvert enkelt datapunkt findes en vadefugl, en moskusokse, en solskinstime, en alge eller et andet element af den arktiske natur som bliver fulgt i GEM-programmet.

Takket være en betydelig bevilling fra Aage. V. Jensens Fonde er der nu etableret moderne forskningsstationer både i Zackenberg og Daneborg samt i Nuuk/Kobbefjord som bliver flittigt brugt af forskere fra hele verden. FOTO: MIKKEL TAMSTORF





Torben Røjle Christensen har gennem 30 år studeret naturen og klimaforandringerne i Arktis. FOTO: PALLE SMEDEGAARD NIELSEN



FOTO: OLE GEERTZ-HANSEN

De 25 års data har givet indsigt i en udvikling, som ingen havde forudset og nu følger en videreudvikling af overvågningen, så forskerne kan finjustere modellerne og svare mere detaljeret på hvordan klima og natur vil udvikle sig i fremtiden.

Bliver de gamle pilebuske begravet i sne til langt ind i august eller vokser de sig større gennem en længe-re sommer? Blomstrer de på et tidligere tidspunkt og er der insekter klar til at bestøve dem? Vil den arktiske natur, der er tilpasset ekstreme forhold, være i stand til at også at tilpasse sig et nyt klima?

Yderligere oplysninger:

Torben Røjle Christensen, Professor,
Arktisk Forskningscenter og Institut for Bioscience,
Arktisk økosystemøkologi, Aarhus Universitet;
tlf.: 9350 9049; mail: g-e-m@au.dk

Læs mere om GEM-programmet her:

<https://g-e-m.dk/>

MOSKUSOKSENS VÆRSTE FJENDE ER VINTRE MED MEGET SNE



Mængden af kalve, der kælvnes og overlever det første leveår er altafgørende for bestanden af moskusokser. Og kalvenes succes afhænger af mødrenes adgang til føde. Også om vinteren. Vintre med meget sne er en trussel for det vandrende arktiske tæppe med den hårde pandebrask. Og det er måske, hvad fremtiden bringer.

Af Peter Bondo Christensen og Signe Høgslund

Moskusoksen er en nøgleart på den arktiske tundra og den har overlevet i det barske klima gennem tusinder af år.

Forskere har gennem 25 år nøje fulgt og studeret bestanden af moskusokser i det højarktiske område ved Zackenberg i Nordøstgrønland. Det har givet ny indblik i dyrenes færden og liv.

Nu har forskerne samlet den nye viden i en model, der fortæller, hvad der sker med moskusoksen, når klimaet ændrer sig, og hvordan man bedst passer på dyrene i områder med jagt.

Moskusoksens tykke, tætte pels gør den i stand til at modstå de barske forhold i Arktis. FOTO: LARS HOLST HANSEN

Halsbånd der sladrer

Moskusoksen er nært beslægtet med får og geder og er slet ikke en okse, som man skulle tro. *Ovibos* er dens videnskabelige slægtsnavn og det betyder faktisk 'fåreokse'. Med en tæt pels af uld og lange dækhår er den tilpasset det kolde arktiske klima med vintre ned til 40 grader frost.

I Nordøstgrønland har forskerne observeret moskusokserne siden 1996. De har nøje registreret hvor mange individer, der er i populationen, hvor mange tyre, køer og kalve der var hvert år og også hvilke aldersklasser de enkelte dyr tilhørte.



Når moskuskalven fødes i slutningen af vinteren, er den helt afhængig af at kunne die, men i takt med at sneen smelter begynder kalvene at spise planter. FOTO: LARS HOLST HANSEN

For at forstå, hvor dyrene færdes, hvor de søger føde og og hvordan de klarer den barske vinter, udstyrede forskerne en række køer med et elektronisk GPS-halsbånd, der hver time registrerede dyrenes position og sendte data hjem via satellit året rundt. Desuden indsamlede Halsbåndene også data om hvordan dyrene bevægede hals og hoved samt deres puls og kropstemperatur.

“Hvis vi skal forstå, hvad der regulerer den samlede bestand af moskusokser, er det afgørende for os at få indblik i hvordan enkeltindivider agerer og reagerer under forskellige forhold,” fortæller professor Niels Martin Schmidt fra Institut for Bioscience – Arktisk økosystem-økologi ved Aarhus Universitet, der har stået i spidsen for undersøgelserne.

Det kræver energi at få kalve på benene

På et 47 km² stort tundraområde omkring forskningsstationen Zackenberg talte forskerne et efterår mere end 400 okser. Og med en kampvægt på 200 til 300 kilo skal der en del føde til at holde dyret fra fortiden kørende.

“Vores mange data viser, at dyrene stort set ikke laver andet end at spise om sommeren, hvor der er føde nok. Her opbygger de et energidepot i form af mere kropsfedt. Det er helt afgørende for, at moskusoksen kan overleve og ikke mindst reproducere sig i løbet af vinteren,” forklarer Niels Martin Schmidt.

Moskusoksen er drøvtygger og vegetationen på tundraen er ofte af lav kvalitet, der kræver lang tid til at fordøje.

Om vinteren hviler dyrene mere. Og mens drægtige køer opretholder en konstant kropstemperatur i løbet af vinteren, sænker de køer, der ikke er drægtige, deres kropstemperatur med lidt under en grad.

Selv med kun en enkelt grad lavere kropstemperatur nedsætter de markant forbrændingen af den livsvigtige fedt. Faktisk betyder den nedsatte kropstemperatur, at dyrene vejer ca. 20 kg mere ved slutningen af vinteren sammenlignet med drægtige køer, der ikke nedsætter kropstemperaturen.

For køer med kalve skal bruge mest mulig energi på fosteret og senere på at lave mælk til kalvene, der fødes i senvinteren (marts-maj). Og så bliver det kritisk, når store mængder af sne lukker af for adgangen til føde.

“Når der kommer meget sne, kan vi se, at dyrene begynder at vandre for at finde føde. Det koster energi og det er kritisk for drægtige køer,” siger Lars Holst Hansen fra Institut for Bioscience – Arktisk økosystem-økologi ved Aarhus Universitet, der deltager i undersøgelserne.

Når hunnerne ikke at få fyldt deres depoter helt op i løbet af sommeren, og er vinteren hård med meget lidt adgang til føde, aborterer mange deres foster for selv at kunne overleve og mange af de kalve, der bliver født, dør tidligt efter fødslen, fordi de ikke får mælk nok.

Model spår om fremtiden

Forskerne har brugt den store mængde data til at opbygge en model, der kan fortælle, hvordan populationen af moskusokser reagerer på fremtidens ændringer i klimaet.

“Det er helt tydeligt, at mængden af sne i løbet af vinteren er den faktor, der betyder mest for bestandens størrelse. Modellen viser os, at år med selv en moderat større snemængde giver en mindre kalveproduktion og modellen fortæller også, at det selv efter enkelte ekstremt snerige vintre tager årtier for bestanden igen at komme op på den oprindelige størrelse,” forklarer Niels Martin Schmidt.

Med de igangværende klimaforandringer forudser forskerne, at der kommer mere nedbør i Arktis. Det er derfor helt afgørende for moskusoksen, om den nedbør kommer som sne om vinteren eller som regn gennem sommerhalvåret.

Klimaforandringerne betyder også længere perioder med skiftende tø og frost. Det giver et panser af et islag, der yderligere gør det svært for dyrene at komme ned til den sparsomme vegetation

Moskusoksen lever ofte i mindre grupper – her en gruppe bestående af en voksen tyr, to køer og en kalv.

FOTO: LARS HOLST HANSEN



Endeligt betyder klimaforandringerne, at vi får flere og flere år med ekstreme vejr-situationer – herunder år med ekstreme snemængder. Det så man bl.a. i Nordøstgrønland i 2018, hvor der kom så meget sne, at store dele af tundraen stadig var dækket af sne helt ind i august måned. Bliver sådanne hændelser hyppigere, bliver det fatalt for moskusoksen.

I 1962 og 1965 flyttede man moskusokser fra Nordøstgrønland til Søndre Strømfjord på vestkysten af Grønland, hvor klimaet er varmere og vegetationen mere frodig. Her møder dyrene ikke samme ekstreme forhold gennem en lang vinter og de har udviklet sig til en stor population, der har spredt sig til store områder til stor glæde for jagtinteresserede.

“Vores model vil også kunne udbygges til f.eks. at kunne forudsige, hvor stort et jagttryk den vestlige population af moskusokser vil kunne klare samtidig med at klimaet ændrer sig. Modellen vil dermed være med til at understøtte en forvaltning, der kan sikre en god og fremtidssikret population i Vestgrønland,” siger Niels Martin Schmidt.

Yderligere oplysninger:

Niels Martin Schmidt, Professor,
Institut for Bioscience – Arktisk økosystemøkologi,
Aarhus Universitet
mail: nms@bios.au.dk; telefon: +45 4191 5664

Lars Holst Hansen, Akademisk medarbejder
Institut for Bioscience – Arktisk økosystemøkologi,
Aarhus Universitet
mail: lahh@bios.au.dk; telefon: +45 8715 8682

Forskere har bedøvet en moskusokse for bl.a. at kunne give den et GPS-halsbånd, som gør forskerne i stand til at følge moskusoksens vandring. FOTO: LARS HOLST HANSEN



MERE SNE BREMSER GLETSJERNES AFSMELTNING

Ikonske billeder af Grønlands gletsjere går verden rundt, når klimaforandringerne debatteres. De skrumpende gletsjere er blevet et symbol på de kræfter, vi er oppe imod i en varmere verden. Nu viser overvågningen af to grønlandske gletsjere, at vinterens sne-masser påvirker, hvordan isen smelter.

Af Signe Høgslund og Peter Bondo Christensen

Ny forskning fra GEM-programmet slår fast: Jo mere sne der kommer om vinteren, jo mindre gletsjer-is smelter væk om sommeren.

Og billedet er det samme både i det højarktiske Nordøstgrønland og i de lavarktiske områder ved Nuuk. Det har betydning både for de grønlandske fjorde og for vandstandsstigningen i verdenshavene.

Målingerne af sne og afsmeltning er foretaget på to gletsjere, der ikke har kontakt til indlandsisen: Qasigiannguut gletsjeren ved Kobbefjord tæt på Nuuk og A.P. Olsen gletsjeren tæt ved Zackenberg i Nordøstgrønland.

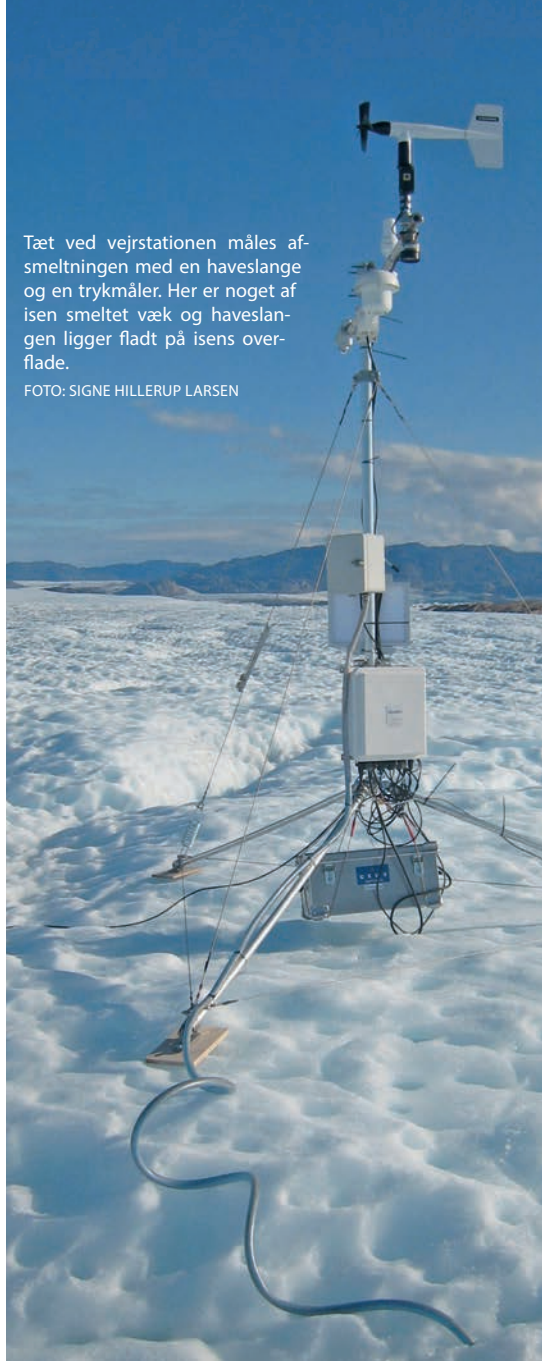
”Denne type gletsjere dækker et meget mindre område end gletsjere, der er i kontakt med indlandsisen. Men de lokale gletsjere bidrager med op til 20% af den stigning i havniveauet, som de grønlandske ismasser bidrager med som helhed,” fortæller Signe Hillerup Larsen, der er forsker ved GEUS – De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland.

Med haveslanger og akustisk sonar

De gigantiske gletsjertunger, der former det grønlandske landskab, har deres eget liv og rytme gennem året. Og det er et liv, der i høj grad bliver formet af sneen. Sne der lander på toppen af gletsjeren bliver efterhånden til is, og det sne, der lander i afsmeltningssonen længere nede, styrer, hvordan gletsjeren smelter.

Tæt ved vejrstationen måles afsmeltningen med en haveslange og en trykmåler. Her er noget af isen smeltet væk og haveslangen ligger fladt på isens overflade.

FOTO: SIGNE HILLERUP LARSEN





Vejrstationen på gletsjertungen af A.P. Olsens iskappe måler bl.a. temperatur, snedybde, solindstråling og vindhastighed.

FOTO: MICHELE CITTERIO

Der findes meget få data fra de gletsjere i Grønland, der ikke er knyttet til indlandsisen, men de data, der findes, viser en tæt sammenhæng mellem snedybder og afsmeltning.

“Vi vidste, at snedybderne på gletsjerne varierer enormt fra år til år. Det er tydeligt, når vi fx bevæger os fra forskningsstationen i Zackenberg til A.P. Olsen iskappen. Nogle år skal vi zigzagge mellem store klippeblokke, fordi der ikke er meget sne, mens vi andre år kan køre direkte hen over landskabet på snescooteren,” siger Signe Hillerup Larsen.

Men ét er en fornemmelse for snedybder, noget andet er at få præcise data om sneen. Og det er en udfordrende opgave at måle snedybde og afsmeltning på toppen af en gletsjer året rundt.

For at løse den udfordring placerede forskerne automatiserede vejrstationer på selve gletsjerne. Sammen med vejrstationerne sad der små sonarer, der hvert tiende minut målte afstanden ned til gletsjerens overflade. Det giver et mål for snedybden.

Men hvad med afsmeltningen? Her var forskerne en tur i redskabsskuret for at udvikle en unik metode, der fungerer vha. en almindelig haveslange. Haveslangen blev gravet femten meter lodret ned i isen hvorfra den strakte sig til isens overflade. Så blev den fyldt med antifrostvæske og i bunden lå en trykmåler, der registrerede, hvor meget væske der stod i slangen. Når isen smelter, lægger haveslangen sig på isen og trykket falder i bunden af slangen, og afsmeltningen kan beregnes.

“Selvom ‘haveslangeløsningen’ er meget lavpraktisk, fungerer den overraskende godt, og det er nogle utroligt vigtige data, vi indsamler her. Vi kan på denne måde sammenholde snedybde og afsmeltningen ret præcist,” forklarer Signe Hillerup Larsen.

Mere sne mindre afsmeltning

Sne og is hænger nøje sammen og data fra de sidste ti år viser, at store snemasser i afsmeltningszonen forhindrer en afsmeltning, der ellers ville reducere isens tykkelse med op til en meter.



En fascinerende arbejdsplads. Signe Hillerup forbereder for ankringen af måleudstyr på A.P. Olsen Gletsjeren.

FOTO: MICHELE CITTERIO

Nogle klimamodeller forudsiger, at der kommer mere nedbør i fremtiden i Nordøstgrønland hvor A.P. Olsen gletsjeren ligger. Gletsjeren bliver i givet fald fodret med mere sne på toppen, så der dannes mere is. Samtidig bremser sneen sommerens afsmeltningen ved kanten af gletsjeren.

“Det er blandt andet på grund af en denne effekt at vi ikke forventer at se de samme ændringer i gletsjernes udbredelse i Nordøstgrønland som i andre dele af landet. Når globale temperaturer stiger yderligere i de kommende årtier, forventes nedbøren nemlig også at stige i Nordøstgrønland,” forklarer Signe Hillerup Larsen.

Signe Hillerup Larsen understreger, at der er mange faktorer, der spiller ind, når forskerne skal forudsige, hvordan vandtilførslen til verdenshavene udvikler sig i de kommende år.

De modsatrettede dynamikker mellem ændrede snemængder, temperaturstigning og afsmeltning er et godt eksempel på nogle af de komplekse samspil, som forskerne er i gang med at udrede.



10 års data er en god start

Overvågningen af gletsjerne gennem de sidste 10 år giver et praj om gletsjernes dynamik, og hvordan klimaet påvirker dem, men der skal en meget lang måleperiode til, før forskerne kan give et godt bud på detaljerne om snemasser og afsmeltning i fremtidens klima.

“Nu gælder det om at fortsætte arbejdet. En 30-årig måleperiode, eller længere, er nødvendigt, når data skal bruges i fx klimamodeller,” fortæller Signe Hillerup Larsen.

Forskere har vist, at sneen er meget vigtig for alt, hvad der foregår på gletsjeren og også omkring gletsjeren. Men stadig ved de ikke hvor meget sne, der rent faktisk er i en kubikmeter. Det næste skridt bliver derfor at overvåge, hvor tæt sneen er – dens massefylde – så de mere præcist kan beregne, hvordan sneen påvirker afsmeltningen fra gletsjeren.

Forskerne arbejder også frem mod at udvide overvågningen, så den kan dække større områder. Fremtidens forståelse af gletsjernes afsmeltning bliver drevet både af de automatiserede vejrstationer og vha. ‘remote sensing’ i form af droner og satellitter. Så havslangerne på isen får fint selskab de kommende år.

Yderligere oplysninger:

Signe Hillerup Larsen, forsker ved GEUS
mail: shl@geus.dk; telefon: +45 9133 3840



Forskeren måler på sneens massefylde ved en vejrstation dækket af sne.
FOTO: MICHELE CITTERIO

TRODS FROST OG SNE: DEN ARKTISKE TUNDRA FRIGIVER METAN ÅRET RUNDT

Konstante målinger gennem femten år på den froste tundra viser at metan slipper ud af jorden både sommer og vinter. Udsippet af den meget potente drivhusgas kommer i bølger, og styres især af hvornår sneen smelter om sommeren og hvornår jorden fryser til i efteråret.

Af Peter Bondo Christensen og Signe Høgslund

Drivhusgassen metan er 22 gange mere potent end kuldioxid og der er derfor meget stor interesse i at forstå, hvor den kommer fra og hvor meget der frigives til atmosfæren.

På den arktiske tundra mellem gølle bjerge har forskere gennem femten år omhyggeligt placeret små plexiglaskasser over den lave og sparsomme vegetation. Her måler de løbende, hvor meget metan jorden frigiver til atmosfæren.

Forskerne har været på steder, hvor man skulle tro at det kolde og barske klima sætter biologien helt i stå. Men netop fra den dybfrosne arktiske tundra siver der metan ud i vores atmosfære, hvor den påvirker det globale miljø.



Forskerne har konstrueret nogle plexiglaskasser, der automatisk åbner eller lukker sig flere gange gennem døgnet. Når kasserne er lukkede, kan forskerne måle hvor meget metan den arktiske tundra frigiver ved Kobbefjord og ved Zackenberg.

FOTO: CHARLOTTE SIGSGAARD

Automatiske målestationer følger frigivelsen af metan

Metan produceres af små bakterier i tundraens svampede jorde. Og med et sindrigt system er det lykkedes forskerne at afsløre ny viden om hvor meget metan der slipper ud af den arktiske tundra.

Forskerne har konstrueret små gennemsigtige plexiglaskamre, der dækker 0,2 m² tundra. Kamrene åbnes og lukkes automatisk. Mens lågene er lukket i, måler et laserinstrument hvor meget metan, der ophobes i luften over tundraen.

Hele systemet styres af en lille computer, der får strøm fra solceller og vindmøller og forskerne behøver derfor ikke være fysisk til stede for at udføre målingerne. Systemet måler frigivelsen af metan én gang i timen døgnet rundt fra slutningen af juni til begyndelsen af

november. Og det er altså de samme små firkanter forskerne har målt på gennem femten år.

“GEM-programmet har nu givet os femten års uafbrudte målinger af metanudslippet fra tundraen ved Zackenberg forskningsstation i Nordøstgrønland,” fortæller Torben Røjle Christensen der er professor ved Arktisk Forskningscenter og Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, og som har stået i spidsen for indsamlingen af de mange data.

Målingerne af metanfrigivelsen er den længste tidserie fra noget sted i Arktis og det detaljerede datasæt har givet forskerne ny og overraskende indsigt i hvad der styrer frigivelsen af metan fra den arktiske tundra.

Overraskende efterårsudslip

“Vi har længe vidst, at tundraen frigiver metan gennem sommerperioden. Når varmen rammer tun-



Solceller og vindmøller genererer den nødvendige strøm til at drive forskernes forsøgsoptillinger i de øde områder.

FOTO: MARCIN JACKOVICZ-KORCZYNSKI

draen, kommer der turbo på de bakterier, der producerer metan. Og noget af den metan frigives til atmosfæren. Men de mange års målinger viser os nu, at mængden af metan der frigives og tidspunktet hvor det frigives på varierer utroligt meget fra år til år,” forklarer Torben Røjle Christensen.

Det er primært datoen for borts meltingen af sne, der styrer frigivelsen af metan. Omtrent 30 dage efter sneen er væk, kvitterer tundraen med et udslip af metan.

Tidspunktet for, hvornår sneen smelter, har gennem måleperioden varieret med mere end en måned, og der er derfor stor forskel på, hvornår på sommeren man ser det maksimale udslip af metan.

Jordens temperatur og fugtighed samt sammensætningen af vegetation er andre faktorer, der regulerer produktionen og frigivelsen af metan. Og de årlige målinger viser, at den samlede sommerfrigivelse kan være op til 4-8 gange større nogle år end andre år.

“Men vi blev meget overrasket, da målestationerne påviste at der også kommer et meget betydeligt udslip af metan i oktober-november. Den type opdagelser kommer kun, når man har måleudstyret på plads og kan måle gennem hele sæsonen og i flere år i træk,” fortæller Torben Røjle Christensen.



Jordens fugtighed spiller en betydende rolle for hvor meget metangas, der slipper ud fra tundraen. Her måler Kirstine Skov på den mængde metan der kommer fra oversvømmede jorde.

FOTO: LARS HOLST HANSEN



Bakterierne producerer ikke meget metan om vinteren og den metangas, der frigives i den tidlige vinter, er derfor ikke knyttet direkte til produktionen. Det stammer fra gas, der er produceret om sommeren og som presses ud af tundraen, når den fryser ind.

Frosten tvinger metanen ud af tundraens øverste aktive jordlag. Her i Arktis er permafrosten som et betongulv, der forseglor jorden nedad til. Så metanen kun kan vandre en vej, når frosten sætter ind i efteråret – nemlig ud i atmosfæren.

Selv om vinteren, når tundraen er dækket af et tykt lag sne, frigiver tundraen metan. Forskerne har målt hvor meget metan, de finder ned gennem et 1,3 meter tykt snedække og kan derigennem vurdere, at 15% af det årlige udslip af metan fra tundraen kommer gennem den snedækkede periode. Forskerne er dog endnu ikke sikker på, hvor meget metan der finder vej op gennem sneen til atmosfæren.

Vigtig brik i den internationale klimadebat

“Det er nødvendigt med mange års data. Og det er nødvendigt, at vi er tilstede langt ind i den arktiske vinter, for at vi kan tegne det fulde billede af udslippet af metan fra tundraen,” siger Torben Røjle Christensen.

De mange års målinger har givet det mest omfattende datagrundlag i Arktis, og indgår i de internationale modeller og rapporter, der vurderer hvordan klimaet ændrer sig i fremtiden.

I fremtidens varmere Arktis vil permafrosten i tundraen langsom tø og hvordan det påvirker udslippet af metan er et åbent spørgsmål, som forskerne nu fokuserer på.

De små plexiglaskasser på den arktiske tundra vil også i fremtiden komme med afsløringer, der kan give os en bedre forståelse for det komplekse samspil, der regulerer klodens klima.

Yderligere oplysninger:

Torben Røjle Christensen, Professor Arktisk Forskningscenter og Institut for Bioscience, Aarhus Universitet; mail: torben.christensen@bios.au.dk; telefon: 9350 9049

De mange moskusokser i Nordøstgrønland græsser pænt uden om forskernes forsøgsopstillinger.

FOTO: LARS HOLST HANSEN



KOBBEFJORD FORTÆLLER OM VANDMASSERNE VED GRØNLANDS KYST

Ændringer i klimaet betyder, at Grønlands kyster oplever større udsving i den mængde ferskvand, der strømmer ud fra land. I Kobbefjord ved Nuuk følger forskerne udviklingen nøje og kan nu bidrage med detaljeret viden om, hvordan udsving i klima og vejr påvirker vandmængderne i forskellige elve.

Af Signe Høgslund og Peter Bondo Christensen



Helt inde i bunden af Kobbefjord ligger den 55 m² store brune feltstation, tæt ved elven, fjorden og Kangerluarsunnguup Tasia, Badesø. Hytten er udgangspunkt for omfattende forsknings- og overvågningsaktiviteter, og herfra arbejder forskere med at undersøge effekter af klimaforandringerne både på naturen på land, og livet i vandet og i luften.

“Overvågningsprogrammet i Kobbefjord er enestående i Arktis. Lokaliteten ligger næsten i vores baghave, så her følger vi naturen året rundt. Det giver os en detaljeret viden, der viser sammenhænge mellem klima og natur,” siger Katrine Raundrup, Grønlands Naturinstitut, der er projektansvarlig i monitoringsprojektet ‘NuukBasic’.

En af de ting, der bliver målt intensivt er ferskvandstilførslen.

Viden om vand

Gennem tolv år har forskerne fra Asiaq, Grønlands Forundersøgelser, målt hvor meget ferskt vand, der strømmer ud i Kobbefjord.

“Vi ved, at ferskvandsafstrømning til de grønlandske fjorde ændrer sig i disse år. Vores detaljerede målinger fra Kobbefjord giver os nu et nuanceret svar på, hvad der regulerer afstrømningen,” fortæller Jakob Abermann, forsker ved University of Graz, Østrig og Asiaq, Nuuk.

Der har gennem flere år været stort fokus på den afstrømning, der sker, når indlandsisen smelter i takt

Det kræver koncentration, omhyggelig og forsigtighed at måle, hvor meget vand, der løber i elven ved Kangerluarsunnguup Tasia. FOTO: ASIAQ

med det varmere klima. Til gengæld har der ikke været meget forskning i tilløb af ferskt vand fra de oplande, der er isfrie eller har små gletsjere.

“Derfor har vi opsat stationer, der måler vandstanden fire forskellige steder i Kobbefjord. Stationerne dækker fire forskellige oplandsområder til fjorden. Så vi har styr på, hvordan ændringer i vejr og klima i de forskellige typer oplande påvirker vandføringen i de forskellige elve,” forklarer Kirsty Langley, forsker i Asiaq og projektleder på Klimabasis, som står for de hydrologiske undersøgelser i Kobbefjord.

Kobbefjord som naturligt laboratorium

Viden om vandtilførslen til Kobbefjord kobles til de andre forskningsaktiviteter i og omkring fjorden. Bl.a. følger forskerne ændringer i sneforhold, jordens fugtighed og temperatur, samt hvor meget klimagas jorden frigiver.

De store alger i fjordens tidevandszone bliver også kortlagt. Hvordan vokser de? Ændres sammensætningen af arter? Og ude i fjorden følger forskerne livet på bunden, hvor de bl.a. ser på bunddyrenes forhold, og hvor meget materiale der omsættes i fjordbunden.

Mængden af salt, lys og næring er med til at bestemme fjordernes tilstand og udvikling. Her spiller elvene en væsentlig rolle. De bidrager med ferskvand, partikler der skygger for lyset og med næringsstoffer, der er mere eller mindre direkte tilgængelige for fjordens organismer.

Store forskelle inden for kort afstand

Strategien med at måle på flere tilløb til fjorden har vist sig at bære frugt. De tolv års data viser, at dynamikken i de fire elve er helt forskellig, selvom de ligger indenfor blot 15 km afstand.

Forskningsstationen i bunden af Kobbefjord er et knudepunkt for overvågningen af klima og biologi i fjorden.

FOTO: KATRINE RAUNDRUP

“De mange målinger har vist os, at forskelle i f.eks. nedbør og solskin giver vidt forskellige effekter i forskellige elve. Især solrige dage giver store forskelle i vandtilførslerne,” fortæller Jakob Abermann.

Når sneen smelter på varme dage, kommer der en puls af ferskt vand. Men det er vidt forskelligt, hvor hurtigt denne puls viser sig i de forskellige elve og den maksimale tilstrømning varierer op mod et halvt døgn mellem de forskellige systemer. Set på stor skala betyder det meget for dynamikken i de grønlandske fjorde.

Viden om mængden af ferskt vand, der strømmer til fjorden, kan bruges til at forstå de biologiske sammenhænge, som bliver kortlagt i fjorden.

Forskerne har under meget kraftige regnskyl set, hvordan der kommer flere partikler i vandløb og elve og at partiklerne flyder med ud i fjorden. Og man må regne med flere sådanne særlige nedbørshændelser i fremtiden.

Fra Kobbefjord til hele Grønland

Hvis forskerne skal være i stand til at forudsige hvordan grønlandske fjorde påvirkes af f.eks. mere nedbør, viser målingerne i Kobbefjord, at de skal tage højde for langt flere forskellige elementer end de hidtil har troet.





Målingerne skal nu bruges til at forfine de modeller, der skal forudsige, hvor meget ferskt vand forskellige fjorde i Arktis får tilført i fremtiden.

“Hvis vi kan få modellerne til at reproducere vores data, kan vi også forudsige, hvad der sker med fjordene, hvis der eksempelvis kommer mere nedbør eller flere solskindstimer i fremtiden. På den måde bliver vores viden fra Kobbefjord bragt i spil på stor skala til at lave modeller for hele Grønland,” fortæller Kirsty Langley.

Data fra Kobbefjord skal gennem de kommende år give indsigt i den samlede ferskvandstilførsel til havet omkring Grønland.

En 55 m² stor feltstation fylder ikke meget i Kobbefjord, men det er kontinuerlige data fra den type stationer i bl.a. Nuuk, Disko og Zackenberg, der gør os alle klogere på, hvordan naturen i Grønland reagerer på et varmere klima.

Yderligere oplysninger:

Kirsty Langley, Scientific Programmanager Climate-Basis Nuuk, ved Asiaq – Grønlands Forundersøgelser; mail: kal@asiaq.gl; telefon (+299) 34 88 61

Jakob Abermann, Forsker ved University of Graz, Østrig og Asiaq; mail: jakob.abermann@uni-graz.at; telefon: +43 316 380



Kobbefjord modtager primært ferskt vand fra fire forskellige elve og om vinteren lægger isen sig i den indre del af fjorden.

FOTO: JAKOB ABERMANN



FOTO: DORTE H. SØGAARD

NI DAGES FEST UNDER ISEN: SMÅ ALGER, DER LEVER BÅDE SOM DYR OG PLANTER, BOOSTER LIVET I DE ARKTISKE FJORDE

Det var svært at tro på tallene, da forskerne så resultaterne fra deres målinger i Nordøstgrønland. På ni forårsdage bandt fjordens planktonalger halvdelen af den mængde kulstof, som algerne normalt binder i løbet af en hel vækstsæson. Og det var endda selvom, havisen stadig dækkede fjorden. Det bragte forskergruppen på sporet af en ny nøglespiller i de arktiske fjorde, hvor isen bliver tyndere og tyndere. En nøglespiller, der også kan være giftig.

Af Peter Bondo Christensen og Signe Høgslund

Mikroskopiske planktonalger er usynlige for det blotte øje. Men de er alligevel den grundsten, der sikrer mad til alle havets levende væsner fra små krebsdyr til store hvaler.

Planktonalger skal bruge lys og næringsstoffer for at vokse præcist som stueplanter i vindueskarmen og sortebær i fjeldet. Alger, stueplanter og alle andre planter vokser ved at udføre fotosyntese, hvor de ved hjælp af solens lys binder kuldioxid.

Et tykt lag havis – eventuelt dækket med sne – hindrer, at solens stråler trænger ned i havet og slukker dermed for lyset til algerne fotosyntese. Men i takt med at havisen bliver tyndere og tyndere og smelter tidligere og tidligere på året, trænger der mere og mere lys ned i havet.

Giver det så flere og flere planktonalger og dermed mad til flere fisk, hvaler og havfugle i fremtidens Arktis? Ja, dette vigtige spørgsmål, har forskerne endnu ikke et entydigt svar på.

Dyr eller plante? Mixotrofe alger er midt i mellem

Mere lys i havet giver kun en højere produktion af planktonalger, hvis der er næringsstoffer nok – og det kniber ofte i arktiske farvande.

I takt med at Arktis tør, løber der mere og mere ferskt og næringsfattigt vand ud i fjordene og videre ud i havet. Det lette ferskere vand lægger sig som et lag oven på det mere salte vand og hindrer at nærings-



Når forskerne færdes på den smeltende havis, skal de kan-
te sig uden om de store smel-
tevandssøer. En pulk er en god
hjælp til at transportere de
mange måleinstrumenter og en
riffel er obligatorisk, hvis en is-
bjørn skulle dukke op.

FOTO: BJARNE JENSEN



FOTO: BJARNE JENSEN

stoffer fra bundlagene trænger op overfladen, hvor der er lys nok til, at planktonalgerne er aktive.

Men nu viser et helt nyt studium fra Nordøstgrønland, at såkaldte mixotrofe planktonalger kan få en helt afgørende rolle for produktionen af føde i det arktiske hav.

Mixotrofe alger er små encellede planktonalger, der både kan lave fotosyntese og få energi ved at æde andre alger og bakterier. Altså leve som dyr. Dermed kan de holde sig i live selvom fotosyntesen er begrænset af meget lidt lys og lave koncentrationer af næringsstoffer i vandet hen over den arktiske vinter. Det betyder, at de er helt klar til at vokse og lave fotosyntese, når en smule af solens lys endelig når ned i havet.

“Mange mixotrofe planktonalger kan leve i næsten helt ferskt vand og ved meget lave koncentrationer af næringsstoffer – det er netop de forhold, der vil være i vandlagene tæt under havisen, lige før isen smelter om foråret i fremtidens arktiske farvande,” forklarer post. doc. Dorte H. Søgaard fra Grønlands Klimaforskningscenter, Grønlands Naturinstitut og Arktisk Forskningscenter, Aarhus Universitet, der har stået i spidsen for undersøgelseerne.

Eksplodiv vækst under isen

Som en del af den marine overvågning under GEM-programmet drog et forskerhold til Nordøstgrønland for at måle produktionen af planktonalger under havisen i den højarktiske fjord, Young Sund, der ligger ved Daneborg. De målte intensivt algernes produktion gennem juli måned og det gav overraskende data.

Dorte H. Søgaard, post. doc. ved Grønlands Naturinstitut har stået i spidsen for undersøgelseerne af de mixotrofe planktonalger. Her er hun ved at studere en prøve af havisen, som forskerne har udtaget.

FOTO: DORTE H. SØGAARD



Gennem de sidste ni dage, før havisen brød op, bredte der sig flere og større smeltepytter på havisen. Smeltepytterne gør isen mere gennemsigtig så lyset lettere kommer ned til vandet under isen. Og forskerne var på pletten og så, hvordan de mixotrofe alger derefter lynhurtigt blomstrede op under havisen.

De mixotrofe alger udgjorde faktisk op til 60 % af alle planktonalger under havisen – en stor overraskelse, da det er første gang, man har målt en opblomstring af mixotrofe alger under havisen i Arktis.

“Vi målte algernes produktion gennem ni dage op til havisen brød op. Og gennem den korte periode producerede algerne under isen op til halvdelen af den

totale årlige planktonproduktion i fjorden. For at forstå økosystemerne i arktiske fjorde er det derfor helt nødvendigt at tage denne produktion under isen med i hele regnestykket,” fortæller Dorte H. Søgaard.

Nye, komplekse fødekæder i det arktiske hav

I takt med der kommer mere og mere ferskt vand til det arktiske hav, kan de mixotrofe alger få en vigtig betydning i det arktiske fødenet og kan stå for en stor del af den samlede produktion af føde i områder, hvor afstrømning af ferskt vand fra land påvirker havets saltholdighed og begrænser mængden af næringsstoffer i overfladen.



“Mixotrofe algers evne til at æde bytte samtidig med at de laver fotosyntese giver dem en stor fordel i et ishav, der bliver mere og mere ferskt og hvor lagdelingen af vandet bliver stærkere. Det kan helt ændre det traditionelle fødenetværk, som vi kender det i de arktiske farvande,” siger Dorte H. Søgaard.

Algerne tilhører en gruppe, der går under navnet haptophytter. Mange af disse alger er giftige og i Nordøstgrønland blomstrede de op i mængder, man tidligere har fundet i Skagerrak ved den sydlige del af Norge. Her slog de giftige planktonalger store mængder af laks ihjel i norske opdrætsanlæg.

Yderligere oplysninger:

Dorte H. Søgaard, post. doc.

Grønlands Klimaforskningscenter, Grønlands Naturinstitut og Arktisk Forskningscenter, Aarhus Universitet; mail: doso@natur.gl; telefon: +45 6116 4226.

Læs forskernes videnskabelige artikel her:

www.nature.com/articles/s41598-021-82413-y



Når foråret sætter ind i bringer meltevandsøer på isens overflade så meget sollys ned i det underliggende hav, at mixotrofe planktonalger begynder at vokse voldsomt. FOTO: DORTE H. SØGAARD

GEM DATABASE

GEM-data er en gratis og åben datakilde, der gør data tilgængelige til internationale forsknings- og uddannelsesformål. Data fra overvågningsprogrammerne på Zackenberg/Daneborg, Nuuk/Kobbefjord og Disko kan findes på <http://data.g-e-m.dk>



For mere information:

GEM Sekretariatet

Institut for Bioscience

Aarhus Universitet

Frederiksborgvej 399

4000 Roskilde

Mail: g-e-m@au.dk

GEM website: www.g-e-m.dk

GEM database: <http://data.g-e-m.dk>

WWW.G-E-M.DK