

Jesper Ruggaard Mebus  
Svend Erik Nielsen

# Klimaforandringer i Arktis

Biofag nr. 6, 2012 / særnummer



# Klimaforandringer i Arktis

Jesper Ruggaard Mebus  
Svend Erik Nielsen

FaDB

Biofag 6, 2012, særnummer

Klimaforandringer i Arktis

© Biofagredaktionen, 2012

Jesper Ruggaard Mebus

Svend Erik Nielsen

Grafisk tilrettelæggelse: Indtryk

Forsidebillede: Isbjørn. © Svend Erik Nielsen, 2012

Bagsidebillede: © Jesper Ruggaard Mebus, 2010

Oplag: 1.300 eks.

ISBN: 978-87-995861-0-3

Dette nummer af Biofag er blevet til ved en bevilling fra FaDB til forfatterne, således at de kunne foretage en rejse til Grønland og indsamle viden og tage billeder til dette hæfte. Siden turen i 2010 er der blevet indsamlet og bearbejdet materiale, således at teksterne ud over til lærernes eget brug bør kunne læses af elever på a-niveau og b-niveau, fx i forbindelse med forberedelse til den artikelbaserede eksamen i biologi. Der har længe været en mangel på de biologiske aspekter af klimaforandringer og dette hæfte er et forsøg på at berøre biologiske dele af klimaforandringer.

Nucleus Forlag Aps har sponsoreret porto'en ved udsendelsen af dette særnummer.

[www.biofag.dk](http://www.biofag.dk)

[www.nucleus.dk](http://www.nucleus.dk)

# Indhold

- 04** Baggrunden for at måle klimaforandringer i Arktis  
*Af Jesper Ruggaard Mebus*
- 10** Planter og dyrs tilpasninger  
*Af Jesper Ruggaard Mebus*
- 24** Isbjørne på tynd is  
*Af Svend Erik Nielsen*
- 38** En arktisk bølge af metan  
*Af Svend Erik Nielsen*
- 48** Miljøforurening i Arktis  
*Af Svend Erik Nielsen*
- 54** Planternes digitale fingeraftryk  
*Af Jesper Ruggaard Mebus*
- 64** Livet ved iskanten  
*Af Svend Erik Nielsen*
- 73** Vegetationens tilpasninger til arktisk og subarktisk klima  
*Af Jesper Ruggaard Mebus*
- 81** Reproduktionsstrategier  
*Af Svend Erik Nielsen*
- 90** Links
- 92** Kilder til figurer

# Baggrunden for at måle klimaforandringer i Arktis

Af Jesper Ruggaard Mebus

Fagområdet for klimaændringer er mangesidet, idet geografiske og (geo)fysiske fagdiscipliner ofte inddrages i beskrivelse og forklaring af global opvarmning, men betydningen af langvarige klimaforandringer har bestemt indflydelse på mange flere fagdiscipliner. Historiske mindesmærker trues, samfundsvilkårene og infrastrukturen i Arktis ændres, erhvervsmulighederne forandres og sidst men ikke mindst vil dyre- og plantelivet også ændres i området. Dette klimahæfte vil have fokus på det sidste og prøve at skitsere de ændringer, der vil ske i Arktis, og hvordan disse ændringer kan måles.

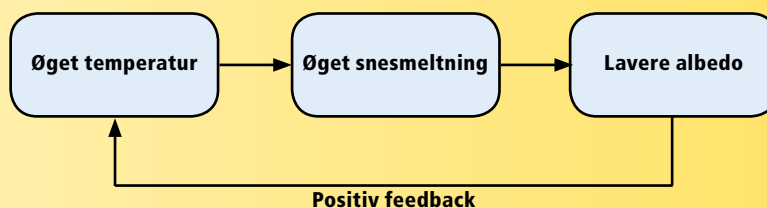
På figur 1 ses, at klimaanormalierne – målt som femårige løbende gennemsnit (udregnet på 12 måneders gennemsnit) set i forhold til gennemsnittet i hele perioden 1951-1980 – viser at der er sket en kraftig global opvarmning fra 1900 til i dag. Det ses at specielt det arktiske og antarktiske område er udsat for de største temperaturstigninger.

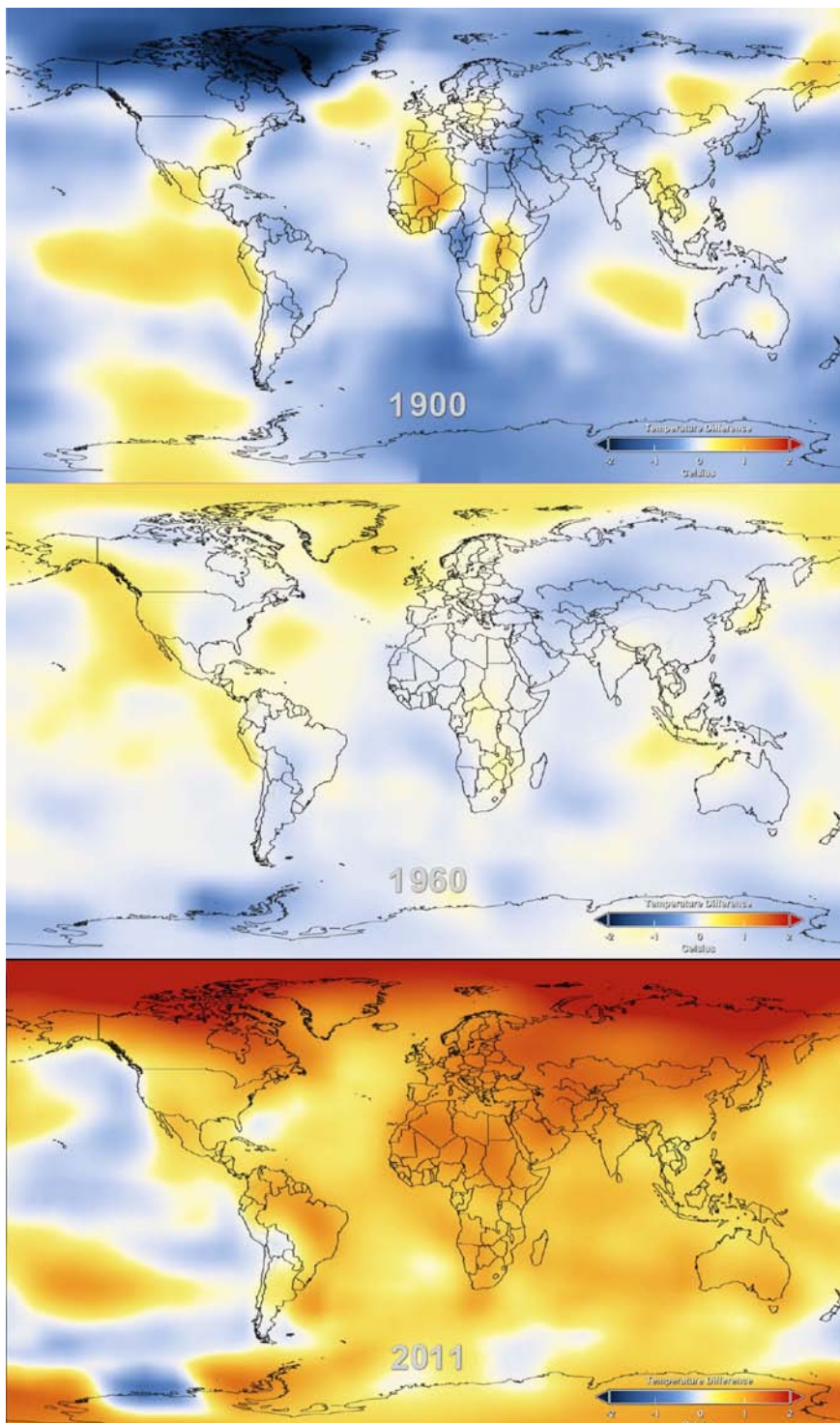
## ALBEDO

Albedo er den del af lyset der kastes tilbage til rummet, og derfor ikke medvirker til opvarmning af Jorden. Lyse overflader som sne har en høj albedo medens mørke overflader har en lav albedo. I Arktis er sne-smeltning ved øget temperatur derfor skyld i en lavere albedo og dermed en endnu større temperaturstigning. En sådan proces, hvor det der sætter en proces i gang medfører en forstærkning af den

igangsættende proces ved positiv feedback kaldes ofte "en dårlig spiral", fordi den er svær at stoppe og forstærkes hele tiden. Se diagram. Men regner således med, at tempe-

raturen kan stige med 9°C i Arktis på grund af den ændrede albedo, når temperaturen er steget 2°C ved ækvator, hvor albedoændringen ikke er påvirket af snesmelting.





Figur 1 Temperaturforandringer set som ændringer i forhold til perioden 1951-1980. Det ses, at i 2011 er kun meget få områder koldere end udgangsperioden og specielt er det blevet varmere ved de høje breddegrader. Tilladelse fra NASA.

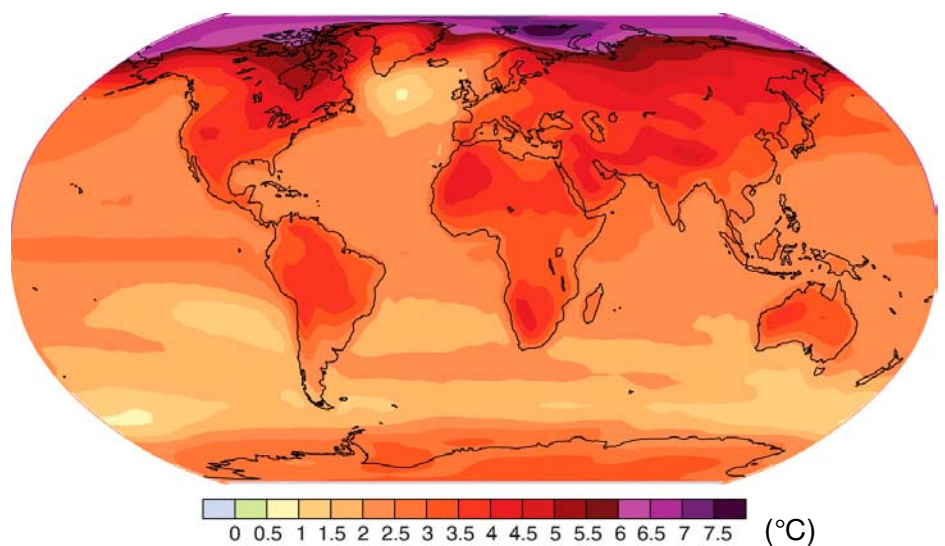
FN's klimapanel IPCC har konstateret, at klimaforandringer som følge af forøget mængde  $\text{CO}_2$  og dermed øget drivhuseffekt er et ubestrideligt faktum. Temperaturændringerne som følge af den forventede temperaturstigning bliver størst i Arktis. Det skyldes først og fremmest, at der ved snesmeltning vil være en mindre refleksion af solens lys og dermed en øget optagelse af solens lys. Derved vil der blive en større absorption af lyset som omdannes til varme, der derved opvarmer omgivelserne. Man siger at albedoen (tilbagestrålingen) bliver mindre. Se boks side 4.



**Figur 2** Grønlands indlandsis. En større og større del smelter. Foto: © Jesper Ruggaard Mebus, 2010.

En anden væsentlig faktor er, at perioden med isfri farvande og snefri landområder bliver længere. Det betyder at vækstsæsonen og ynglesæsonen for planter og dyr bliver længere, og det kan have betydning for artssammensætningen og dermed den interspecifikke konkurrence, ligesom arter der er tilpasset det subarktiske eller tempererede klima vil være potentielle invasive arter, og arter tilpasset det arktiske klima vil have svært ved at klare de nye livsbetingelser.

**Figur 3** Mest sandsynlige klimascenarie ved udgangen af det 21. århundrede i følge FN's klimapanel. Det ses tydeligt at den globale opvarmning har størst betydning ved Arktis. Kilde UN, IPCC, Summary for policymakers.



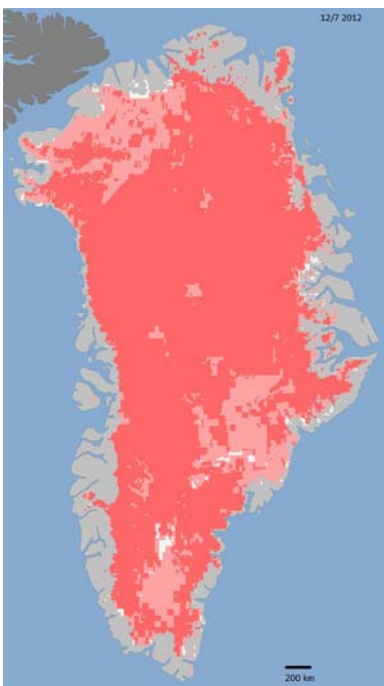
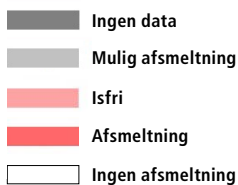


**Figur 4** Rensdyr er gennem selektion tilpasset til de arktiske/subarktiske forhold, og har formodentlig derfor stadigvæk mulighed for at klare sig selv ved varmere temperaturer. Foto: © Jesper Ruggaard Mebus, 2010.



**Figur 5** Modsat renen er isbjørnens overlevelse knyttet til is og til muligheder for fangst af fx sæl på den arktiske havis. Den ekstreme tilpasningsgrad bevirker, at isbjørnen er langt mere truet af klimaforandringer end dyr der også findes i subarktisk, som fx renen. Foto: © Svend Erik Nielsen, 2010.





**Figur 6** Figuren viser afsmeltningssituationerne på Grønland hhv. den 8/7 2012 og den 12/7 2012.  
Kilde: NASA Earth Observatory.

De polare egne er defineret ved en maksimal gennemsnitstemperatur for varmeste måned under 10 °C, hvorved trævækst er udelukket, og der altid er perioder med frost. Disse vilkår har med benhård selektion været med til at skabe betingelserne for det liv der findes, som med artsspecifikke tilpasninger kun er knyttet til dette område. Det er klart, at ved indvandring af træer i tilfælde af et varmere klima vil tundraen blive mindre og den vegetation der præger tundraen blive mindre udbredt.

Dette har betydning for både de store græssende pattedyr som rensdyr og moskusokse, og mindre dyr som mus og lemminger, som igen kan have betydning for rovdyrene. Herudover er mange af de store pattedyr knyttet til disse kolde egne; isbjørn er det mest kendte eksempel, men også hvalros, narhval, moskusokse og grønlandssæl er dyr der med artsspecifikke tilpasninger er knyttet til det arktiske miljø og som kan være truet af klimaforandringer.

Mange af disse økologiske aspekter kan man deducere sig frem til, men egentlige målbare effekter kræver målinger både før og efter der er foregået klimamæssige forandringer, og da variationen fra år til år er betydelig, må man måle over lange tidsserier før dette skal give mening.

Sommeren 2012 har i Danmark været kold og med en del nedbør, men det forholder sig ofte, således at hvis det er koldt i Europa er Grønland varmt og i 2012, har det været en meget varmere sommer end man før har målt på Grønland. NASA måler bl.a. afsmeltningen på is og har målt at man på fire dage fra den 8/7 2012 til den 12/7 2012 har oplevet at sommerafsmeltningen af indlandsisen er gået fra at dække 40 % af indlandsisens areal den 8/7 til at dække 97 % af indlandsisen den 12/7. Se figur 6.

Der er to meget bemærkelsesværdige forhold der gør sig gældende på NASAs billeder. Det ene forhold er, at i de 30 år man har målt temperaturen og dermed afsmeltningen på indlandsisen, har man aldrig før set, at der er afsmeltning på næsten hele iskapen. Det andet forhold er at det er første gang man har set så stor ændring i afsmeltningen på så kort tid. På fire dage er 57 % af indlandsisen (og vel at mærke den del der normalt ikke smelter om sommeren) begyndt at smelte. Det vidner om hidtil uset høj afsmeltning i Grønland, som ikke kan undgå at have konsekvenser for såvel infrastruktur som for dyre- og planteliv.

Den øgede afsmeltning havde konsekvenser ved Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord), hvor de internationale fly lander – ”Danmarksflyene”. Kangerlussuaq ligger ved bunden af en ca. 185 km lang fjord langt inde i landet, hvor havet ikke bidrager til fx tågedannelse eller ustabil vejr. Ca. 30 km øst for Kangerlussuaq er indlandsisen – derfor er klimaet stabilt, koldt og klart her – velegnet til placering af en lufthavn. Byen skæres af et flodleje, hvor der om sommeren løber smeltevand fra indlandsisen. I den nordlige del af byen ligger bl.a. lufthavnen og i den sydlige del ligger



den gamle base anlagt af amerikanerne under 2. verdenskrig. Den nordlige og sydlige del af byen hænger sammen med en bro over flodlejet. Afsmeltningen omkring den 12/7 fik smeltevandsfloden til at nå hidtil usete højder med meget store vandføringer. Vandet ødelagde broen mellem den sydlige og nordlige del af byen, som det kan ses på billedet taget den 15/7 2012, da vandstanden i flodlejet var faldet. Afstanden fra broen til lufthavnen er ca. 900 meter, men lidt længere oppe ad smeltevandsfloden er afstanden mellem landingsbane og smeltevandsflod ca. 100 meter (godt nok ca. 20 højdemeter) og kraftigt strømmende vand har en eroderende effekt på flodlejet, så vigtige dele af Grønlands infrastruktur kan trues hvis disse kraftige sommerafstrømninger bliver hyppige.

Dette hæfte indeholder artikler om biologiske aspekter som ny forskning inden for klima og Arktis har vist. God fornøjelse med hæftet.

Figur 7 Broen over flodlejet ved Kangerlussuaq 15/7 2012.  
Foto: © Svend Erik Nielsen.

# Planter og dyrs tilpasninger

Af Jesper Ruggaard Mebus

Det arktiske klima er barskt og i den arktiske natur kan overlevelse være et spørgsmål om marginaler. Dette stiller store krav til de arktiske planter og dyrs tilpasning. Tilpasning dels i form af fysiologiske tilpasninger til store temperaturforskelle og ekstrem kulde, men også som særlig morfologi, adfærd og livsstrategier der sikrer overlevelse i kortere eller længere perioder hvor livsforholdene er ugunstige og livsnødvendige ressourcer er begrænsede. Tilpasninger, der er opstået gennem årtusinders evolution. Denne artikel omhandler de tilpasninger forskellige organismer i Arktis har udviklet – der vil være tale om overordnede mønstre og enkelte arters tilpasning – såkaldte økofysiologiske tilpasninger – eller arternes autøkologi, se boks.

## Stress

Miljøfaktorer der afviger fra, de for en levende organismes optimale, kaldes stressfaktorer. Man skelner mellem abiotiske stressfaktorer, som f.eks. ekstrem kulde eller høje varmegrader, for lidt – eller for meget vand etc., og biotiske stressfaktorer, som infektioner, græsning, interspecifik konkurrence etc.

Stresses en organisme kan den i et vist omfang tilpasse sig og modvirke effekterne af stressfaktorer ved ændring af cellernes stofskifte, produktion af særlige molekyler f.eks. membranmolekyler eller stressproteiner. Yderligere stress vil give skader, men også her har en levende organisme, inden for visse grænser mulighed for at reparere skaderne og kan komme sig. Overstiges disse grænser opstår uoprettelige skader og organismen dør.

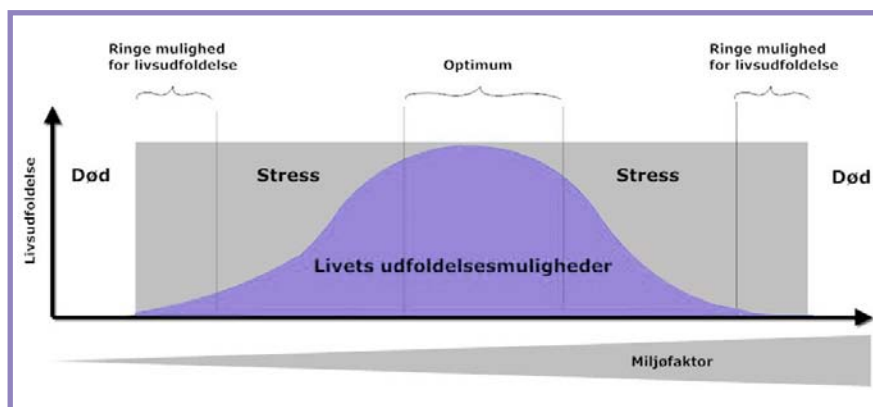
Tiden en organisme udsættes for stress, spiller også en stor rolle, så selv stress i mindre grad, men gennem længere tid kan skabe uoprettelige skader eller mindske modstandsdygtigheden overfor sygdomme, og dermed nedsætte organismens overlevelsesmuligheder.

Stor forskel mellem sommer og vintertemperaturer, ekstrem kulde, pludselige temperaturskift og stor sæsonvariation fra år til år præger det arktiske klima. Det er i lyset af dette og samspillet af alle dele af det arktiske økosystem, at planterne og dyrenes

livsstrategier samt forplantning skal ses. Generelt inddeles planter i tre vækststrategier; nemlig k-, r- og s-strategier som hver for sig betegner forskellige måder at håndtere forskellige typer stress. K-strategerne er konkurrencestrategerne. De lever hvor der er forholdsvis uforstyrret og mange tilgængelige næringsstoffer og i øvrigt gode forhold for vækst, varme, vand og lys. Med successionen vil det i Danmark give fordele for løvtræer, som vinder lyskonkurrencen – derfor er træer betegnet som k-strateger. Det er ikke alle steder, at klimaksvegetationen kan blive så høj som træer og i Arktis finder man derfor ofte tundra med dværgbuske – her er de abiotiske faktorer ikke optimale og planten lever derfor med en del stress (se figur 1). Disse planter kaldes under et for s-strategerne og er planter der er nøjsomme og ofte langsomt voksende og tilpasset et ikke-optimalt miljø. Modsat dette er opportunisterne som kaldes r-strateger (r for ruderat som er en betegnelse for et nyligt ryddet område). Der er mange næringsmuligheder og der er en høj grad af forstyrrelse. Enårige planter, stauder og planter som har et kraftigt rodsystem, kan tåle mange forstyrrelser (fx græsning og brand), medens planter med stor eksponeret biomasse der udsættes for forstyrrelse ikke klarer sig her. Dette kan deles op i en matrix, hvor man kan kombinere forstyrrelse og stress (ressourcetilgængelighed), se tabel.

	Lav forstyrrelse	Stor forstyrrelse
Lavt stress (mange ressourcer)	K-strateger	R-strateger
Højt stress (få ressourcer)	S-strateger	

Det ses af tabellen, at der ikke findes planter der både kan tåle stor forstyrrelse og højt stress. For grønlandske planters vedkommende, hvor mange er s-strateger, vil en stor grad af forstyrrelse betyde planternes endeligt. Man kan ud fra tabellen se, at det grønlandske planteliv er meget sårbart. Der er dog forskere der anfører, at mange af planterne lever med nogen grad af forstyrrelse i form af græsning fra får (Sydgrønland), moskusokse og ren. Også gnavere i form af fx lemninger kan forstyrre vegetationen væsentligt.



Figur 1 Det fremgår af figuren, at organismers livsudfoldelse er afhængig af en miljøgradient.

### AUTØKOLOGI

Autøkologi kommer egentlig af auto (selv) og økologi (læren om husholdning), hvilket kan oversættes med hvilken økologi den enkelte art har i forhold til sine omgivelser. Autøkologien beskriver derfor studiet af den enkelte organismes økologi ofte beskrevet i forhold til abiotiske faktorer.

## Tilpasninger

Temperaturgrænserne for liv er bl.a. bestemt af flydende vands tilstedeværelse og stabiliteten af de organiske molekyler der indgår i livsprocesserne. Vand er en væsentlig bestanddel af alle levende organismer og en forudsætning for stoftransport i og omkring celler. Det fungerer som transportmiddel for livsnødvendige nærings-salte fra omgivelserne til planter og indgår som element i deres fotosyntese. Herudover har snedækket stor betydning for arternes overlevelse, specielt ensvarme dyr der er særligt påvirket af den store årstidsvariation i temperatur mellem sommer og vinter.

Fysiologiske tilpasninger hos kuldetolerante organismer handler derfor bl.a. om

1. at udnytte lys og varme i den korte arktiske sommer (ydre karakterer)
2. at hindre, at der dannes iskrystaller i celler og væv under ekstrem kulde (indholdsstoffer)
3. at overleve en lang periode med begrænsede ressourcer.

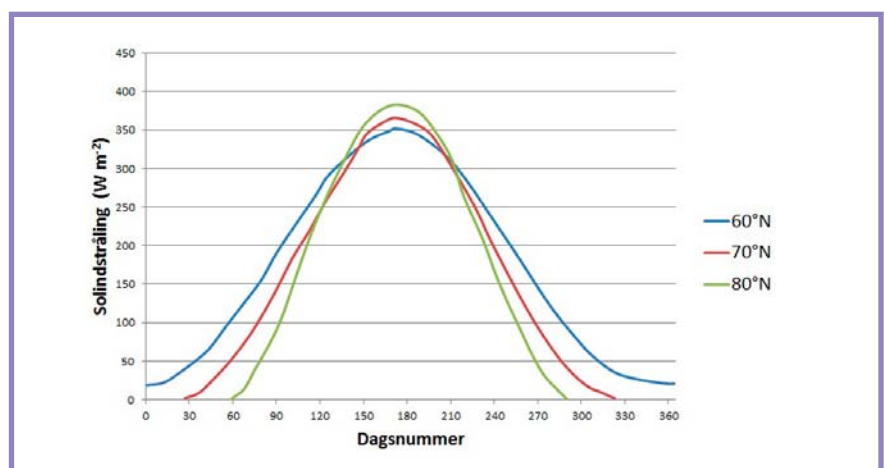
## Planters overlevelsesstrategier

Tilpasninger der går ud på at udnytte den korte arktiske sommer er forskellig fra organisme til organisme. For planter som i høj grad alene er aktive i denne periode, er den arktiske sommer med lange dage og meget sollys (se figur 2) rigtigt god i forhold til fotosyntese.

Hos planter foregår der sjældent en egentlig varmeproduktion. Da hastigheden for enzymkatalyserede processer er stærkt temperaturafhængig betyder det for planterne, at stofomsætningen og dermed deres vækst er lav ved lave temperaturer. Derfor har planter livsstrategier og evolutionære tilpasninger der kan modvirke dette. Det drejer sig både om indholdsstoffer og om at beskytte sig mod kulde og udnytte solopvarmningen mest muligt.

For planter er særlige fysiologiske og morfologiske tilpasninger af stor betydning, idet de må forblive stationære i deres habitat

Figur 2 Det ses, at den arktiske sommer modtager mere solenergi end alle andre steder, hvilket først og fremmest skyldes dagslængden.



gennem deres livsforløb. Miljøforholdene og plantens evne til at tilpasse sig disse er bestemmende for plantens succes i forhold til vækst og formering. Der findes sjældent optimale mængder af alle de væsentlige abiotiske faktorer samtidig. Planternes vækst, og reproduktion afspejler dette. I Arktis i særlig grad.

Den mikrobielle omsætning af humusstofferne i arktisk jord foregår meget langsomt på grund af lave temperaturer og mængden af tilgængelige næringsstoffer der er til rådighed for planterne er derfor begrænset.

Vækstperioden i den arktiske sommer, hvor lysmængden og temperaturen er tilstrækkelig, er kort og varierer fra år til år med snedækkets varighed. Ved længerevarende snedække går planterne glip af væksten i midsommerperioden, hvor solen står højest på himlen. Det vil begrænse planternes fotosyntese, resultere i mindre kulstofoptag, mindske deres vækst og planternes reproduktion vil også kunne hæmmes. For flerårige arter er dette af betydning, men specielt enårige arter kan ikke tåle en sommer, hvor de ikke kan nå at sætte frø – det vil udrydde bestanden.

For at udnytte, at jorden absorberer solens stråler og udsender varme er mange grønlandske planter rosetplanter, med blade ved basis (det fotosynteseaktive væv) og en midtstillet blomstrende stængel (som man kender fra fx mælkebøtte), se figur 3.



Figur 3 Rank Kodriver (*Primula stricta*). En rosetplante. Kangerlussuaq. Foto: © Jesper Ruggaard Mebus, 2012.



Figur 4 Blågrå Pil (*Salix glauca*) er et eksempel på en plante med mange lyse hår på bladoverfladen, hvorved planten er beskyttet ekstra mod kulde. Foto: © Jesper Ruggaard Mebus, 2012.

Figur 5 Topspirende Svingel (*Festuca vivipara*). Foto: © Jesper Ruggaard Mebus, 2012.



Andre muligheder for at få opvarmet vævet er hår ved blade og blomster, som holder på luftlaget omkring bladene og som varmes op ved solindstråling. Derved stiger temperaturen ved bladets overflade, da vindafkøling mindskes og enzymerne derfor kan arbejde hurtigere, hvorved fotosyntese og dermed vækst optimeres.

En anden måde at klare en kort vækstsæson på er, at man sørger for at afkommet får et forspring. Der findes flere former for topspirende græsser, som netop lader frøene spire på akset inden det afsættes til videre spiring. Dette er både et subarktisk fænomen og et arktisk fænomen og Topspirende Svingel findes da også cirkumpolart omkring Nordpolen.

Til sidst kan man omtale planternes variation som et tilpassende parameter. Der er en meget stor forskel på ens genetiske planter, hvis de udsættes for forskellige vilkår. Den variation kaldes plasticitet og den plasticitet planter udviser i deres udseende kaldes

fænotypisk plasticitet. En plante som Dværgbirk (*Betula nana*) udviser meget stor plasticitet. I arktisk Grønland er planten normalt ankelhøj og har en udbredelse med en diameter på omkring 30-40 cm, men hvis man i en tempereret zone bevæger sig op ad et bjerg og nærmer sig det alpint polare område, vil man kunne se Dværgbirk - vindbeskyttet af træer – blive op til 60 cm høj og have en diameter på op mod en meter. Denne meget store forskel, og det at planterne ikke nødvendigvis skal leve under optimale forhold, gør, at planter i Arktis kan klare sig.

### Planters indre tilpasninger

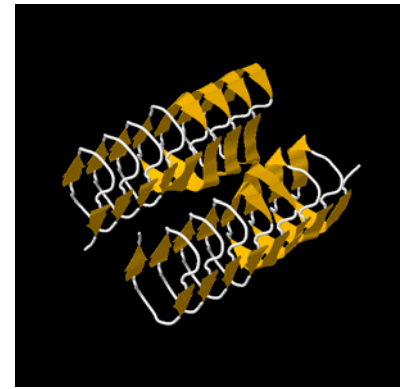
I planter med dele over jorden, som udsættes for vinterens frost, ses hos nogle arter en højere andel af umættede fedtsyrer i cellemembranerne, samt produktion og oplagring af sucrose i stedet for stivelse fra fotosyntesen. Den øgede mængde af opløste kulhydrater hæver det osmotiske potentiale og sænker frysepunktet i cellerne. Desuden trækkes væske ud af plantecellerne til rum mellem cellerne, da iskrystaller i intercellulærvæsken ikke på samme måde skader cellerne. Alt sammen tilpasninger som sættes i gang, når planterne om efteråret udsættes for lavere temperaturer og mindre sollys. Der er desuden også opdaget antifryseproteiner hos planter, fx hos Almindelig Rajgræs (*Lolium perenne*) som er en til dels stedsegrøn græs som også vokser i Grønland (indført). Den har proteiner der kan sætte sig på nydannede iskrystaller og hæmme deres vækst. Mere om antifryseproteiner på temasiderne og under vekselvarme dyr. Se temasider om antifryseproteiner.

### Dyrs tilpasninger

Man må i en beskrivelse af dyrs tilpasninger skelne mellem vekselvarme dyr og ensvarme dyr. For mange ensvarme dyr er sommerperioden et tidspunkt, hvor man får afkom og æder sig et spæklag til før vinteren sætter ind. Andre dyr som trækfugle - (ca. halvdelen af de 60 ynglende grønlandske fuglearter er trækfugle) udnytter den arktiske sommers høje energiinput (se figur 2) og flyver væk fra den kolde vinter.

#### *Vekselvarme dyrs tilpasninger*

Hos vekselvarme dyr afspejler de indre temperaturer, de eksterne temperaturer. Problemet for disse dyrs vedkommende er, at stofskifteprocesserne og dermed væksten nedsættes med faldende temperatur. De adfærdsmæssige tilpasninger vekselvarme dyr kan anvende for at klare sig i et suboptimalt miljø, er fx når insekter opnår højere temperatur ved at sidde på mørke sten og jord og lade sig varme op af solen. Ofte en temperatur der er langt højere end lufttemperaturen. Når kropstemperaturen sænkes sætter de sig igen. Er det for koldt eller blæsende vil deres stofskifte være lavt, og så må de kravle rundt i stedet for at flyve.



Figur 6 Antifryseprotein hos Almindelig Rajgræs (*Lolium perenne*).



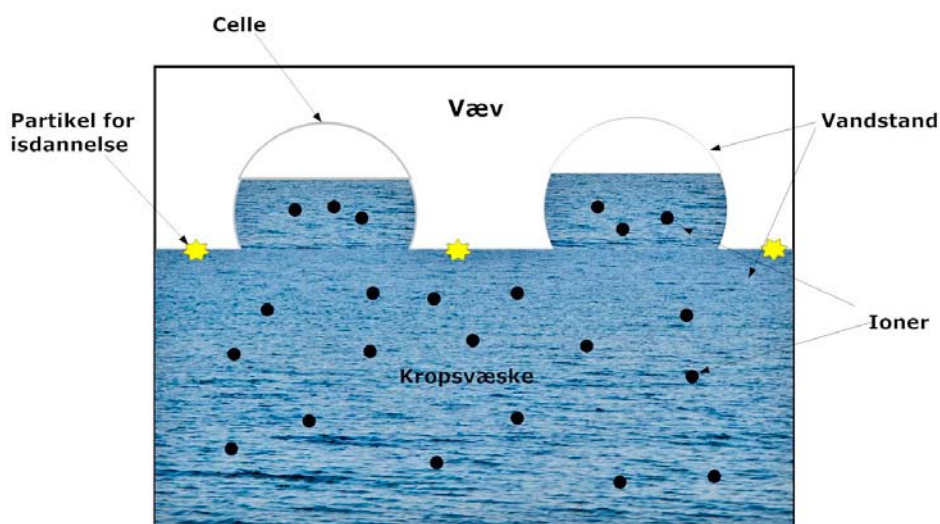
For vekselvarme organismer med en relativ kort livscyklus betyder det, at livsmulighederne er begrænsede i Arktis (fx findes der ikke terrestriske snegle i Grønland), da frost vil få organismernes vandindhold til at fryse, hvorved dyrets celler kan sprænges og derved få skader som er irreversible. For at forhindre dette kan vekselvarme dyr og visse planter lave diverse foranstaltninger. Det kan fx være dannelse af antifryseproteiner og et højt indhold af stoffer som fx glykol (frostvæske) der kan nedsætte organismens frysepunkt.

Dannes der iskrystaller hindres eller hæmmes stoftransport, og desuden forårsager iskrystaller skader på celler og organer. Ved isdannelse, opkoncentreres den stadig flydende del af væsvæsken. Dette skaber et hyperosmotisk miljø for de omkringliggende celler, som trækker vand ud af cellerne. Hvis cellevolumen kommer under et kritisk minimum, skades cellemembranen irreversibelt. Normalt vil en frostskaedesituation foregå ved, at der er en ligevægt mellem ionerne inden for cellerne og ude i vævet (intercellulærvæsken). Ionerne og de opløste stoffer sænker isdannelsen noget, men har ikke den store effekt, og derfor vil der dannes is i både cellerne og i intercellulærvæsken, se figur 7.

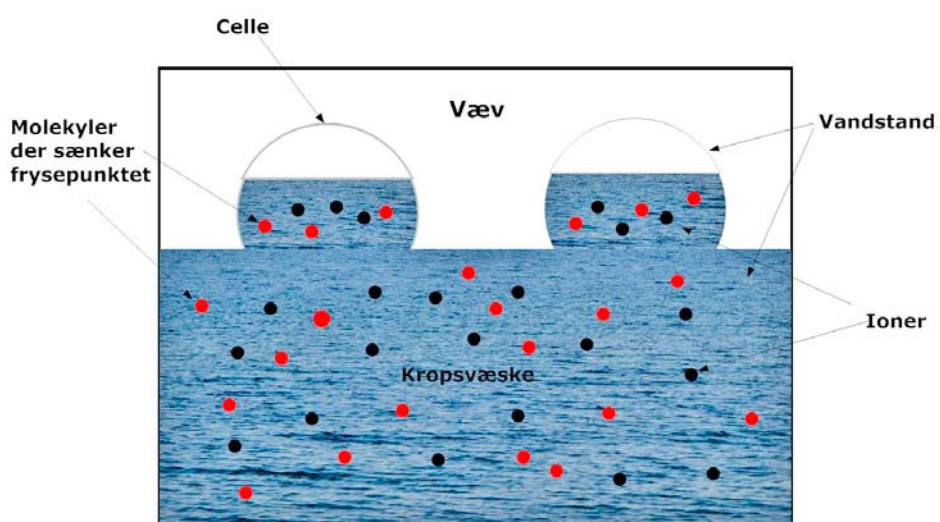
Man taler om to måder at undgå frostskaeder i væv hos vekselvarme dyr på, nemlig den såkaldte frostundvigende tilstand og den frosttolerente tilstand. Den frostundvigende tilstand opnås ved at organismen i væsvæsken producerer forskellige molekyler (glucose, sucrose og glykol) der sænker frysepunktet, hvorved frostskaeder undgås. Desuden fjernes nukleationskerner, som er de stoffer isen udkrystalliseres omkring. Dette kan fx ske ved at organismen tømmer sin tarm eller på andre måder fjerner stoffer der fremmer isdannelsen, se figur 8.

Frysetolerente organismer danner antifryseproteiner. Antifryseproteinerne sætter sig på de nydannede iskrystaller og bevirker, at de ikke vokser uhæmmet. Derved skades iskrystallerne ikke vævet. Da ionerne i væsken ikke fryser til is vil der ske en opkoncentrering af ionerne i intercellulærvæsken, som derved osmotisk trækker væske ud af cellerne, hvorved ionkoncentrationen i cellerne også stiger og frysepunktet inde i cellerne dermed falder, se figur 9. Læs iøvrigt temsiderne om antifryseproteiner hos fisk.

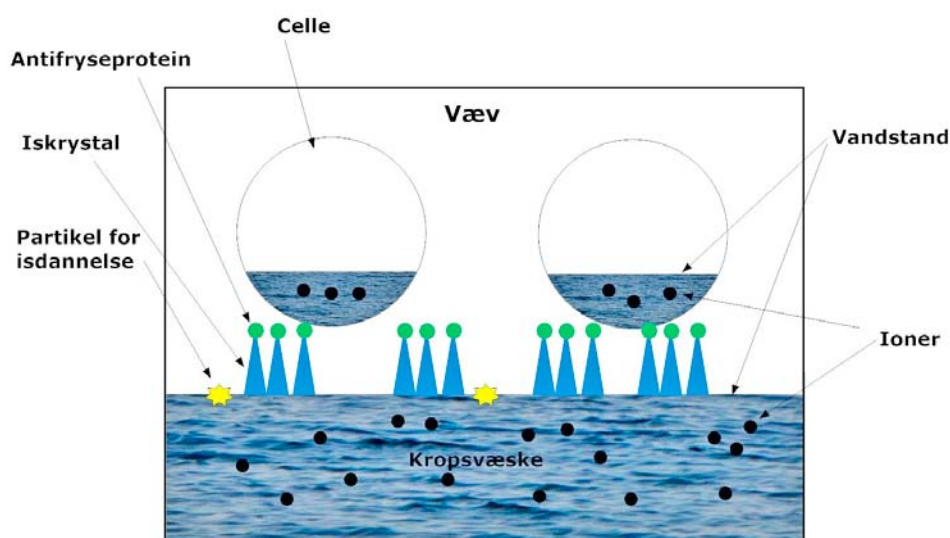
Nogle arktiske insekter og padder er i stand til at bevare kropsvæsker flydende i temperaturer helt ned til  $-55^{\circ}\text{C}$  ved at danne antifryseproteiner der hindrer iskrystaldannelse. Store dele af året ligger de i dvale og på grund af de lave temperaturer, har mange arktiske insekter en flerårig livscyklus, da det kan være nødvendigt, at larvestadiet varer mere end én vækstsæson før fx en sommerfugl kan udvikles.



**Figur 7** Mængden af væske er høj både i væsken omkring cellerne og inde i cellerne. Vand kan sagtens underafkøles (komme under 0 °C) før der dannes iskrystaller, men er der partikler hvorpå iskrystallerne kan opbygges er der stor sandsynlighed for, at vævet fryser til is, selvom ionerne (sorte prikker) nedsætter frysepunktet til lidt under 0 °C.



**Figur 8** Ved frostsituationer fjerner organismen punkter for frostdannelse (nukleationskerner) og tilfører molekyler (røde prikker) fra stofskiftet som sænker frysepunktet, fx sukkerstoffer og glykol der i vandig opløsning virker som antifrostvæske.



**Figur 9** Ved frostsituationer dannes iskrystaller i organismens intercellulære væv, men disse iskrystallers vækst hindres af antifryseproteiner (grønne prikker), så ikke alt væv fryser til is. Derved opkoncentreres ionerne som sænker frysepunktet for den ikke frosne del af organismens vandindhold.



Figur 10 Sneharer i vinterdragt.  
Foto: © Svend Erik Nielsen,  
2012.

### *Ensvarme dyrs tilpasninger*

Fugle og pattedyr er varmblodede dyr og har et temperaturmæssigt stabilt indre miljø. De er i stand til at opretholde den samme indre temperatur, trods de ydre temperaturer varierer. I Arktis ses især tilpasninger til minimering af varmetabet til omgivelserne. Dels ved hjælp af et tykt isolerende spæklag, samt særlig tyk pels eller fjerdragt specielt om vinteren. Årstidsvariationen i Arktis er stor med lange mørke vintre og deraf følgende ekstrem afkøling og somre med midnatssol, hvilket kan medføre at temperaturen når op på fx 15-20 °C og dermed er en samlet årstidsvariation på over 50 °C. Derfor kan dyrene skifte pels fra en tynd sommerpels/fjerdragt til en tyk vinterpels/fjerdragt og dermed opstår et af de fænomener der kun findes i polare egne nemlig vinterhvide pelsfarver. Eksempler på dette er polarharer og fjelddryper, der begge skifter farve til hvid om vinteren, se figur 10 og 11.

Derved minimeres deres risiko for at blive opdaget af rovdyr, og de har dermed en evolutionær fordel ved at skifte farve om vinteren til en camouflagesfarve. Det er naturligt at dyr der jages af andre dyr skifter pelsfarve om vinteren, men et rovdyr som polarræven har udviklet samme strategi, som den bruger det til at jage med, idet den således ikke opdages af byttedyrene. Manglende skjul i den vegetationsløse vinter er sikkert med til at fremme denne genetiske egenskab hos polarræven. Herudover er kropsform, størrelse og adfærd tilpasset, således at varmetabet mindskes. Sammenligner man eksempelvis polarrævens kropsform med mere varmt levende rævearter ses, at den har rundere kropsform, kortere snude, ører og ben, hvilket mindsker varmetabet via overfladen til omgivelserne.

Der findes også adfærdsmæssigt styrede tilpasninger. Når det er særligt koldt og blæsende mindsker isbjørne og polarræve varmeafgivelsen ved at rulle sig sammen som kugler, for at få så lille overflade som muligt i forhold til deres volumen. Samtidig kan de øge deres varmeproduktion ved biokemiske varmeprocesser samt små muskelrystelser. På de koldeste dage betyder det at de kan opretholde en kropstemperatur der er op til 80 grader højere end den omgivende lufttemperatur, se figur 13.

Figur 11 Fjelddryper i vinterdragt.  
Foto: © Jesper Ruggaard Mebus,  
2012.



Figur 12 Polarræv i sommerdragt.  
Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.



**Figur 13** En slædehund der ruller sig sammen i sneen for at undgå at blive afkølet. Arealet mindskes dermed til de kolde omgivelser. Desuden gemmer den næsen nede i pelsen, så når den trækker vejret er den luft den indånder ikke så kold, men opvarmet af pelsen. Denne adfærdsmæssige tilpasning kan også ses hos polarræv og isbjørn. Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.



### **Samspillet mellem dyr og planter**

For både planter og dyr er deres fysiologiske tilstand afgørende for deres evne til at overleve og forplante sig. Tilpasningerne i bredere forstand ses også i samspillet mellem dyr og planter. Fødeudbuddet afgør dyrenes vandringer og planteædernes ynglesucces afhænger af mængden og kvaliteten af føde der er til stede på det rigtige tidspunkt i løbet af året. Da planternes aktive vækstperiode i den arktiske sommer varierer fra år til år med snedækkets varighed, er der for landpattedyrene stor variation i fødeudbud fra år til år, samtidig med at hårde vintre tærer på dyrenes energidepoter. Det er derfor vigtigt, at dyrene får unger på et tidspunkt, hvor der er størst tilgang til føde. Fx skal rensdyrenes kælvning helst være afstemt med starten af planternes vækstsæson, så rensdyrhunnerne får den mest næringsrige kost i den periode, hvor de skal producere mælk. En forskydning i planternes fremspiring som et respons på et varmere klima kan derfor betyde at rensdyr vandrer længere mod nord for at få optimal føde ved diegivning eller at rensdyr uddør.

### **Sygdomme**

Lungeorm hos moskusokse og ren (*Umingmakstrongylus palikuukensis*) findes ikke i Grønland, men er relativ almindelig i Canada, fordi lungeormen har snegle som mellemvært for de dødelige parasitter. Landlevende snegle er almindelige i Canada, men findes ikke i Grønland. Det er derfor muligt, med fremtidigt varmere klima, at der kommer snegle til Grønland som kan overleve. Moskusoksebestanden i Vestgrønland, hvor dyrene er fløjet ind i hhv. 1962 og 1965, stammer fra 27 individer fra Nordøstgrønland. Nu tæller bestanden over 15.000 individer og med den meget lille genetiske variation kan modstandskraften over for parasitter

være lav, og smittehyppigheden til gengæld høj grundet den tætte bestand. Derfor kan sygdomme der er vektorbårne, som lungeormen, blive mere udbredt i Grønland og true ellers sunde bestande af store pattedyr.

## Sammenfatning

Inden for afgrænsede rammer kan organismer tilpasse sig ændrede livsvilkår såvel adfærdsmæssigt som fysiologisk, så længe ændringen i livsvilkår ikke foregår for hurtigt og er for stor. I naturen udsættes en organisme for mange påvirkninger samtidigt - af såvel abiotisk som biotisk karakter. Et varmere klima kan fx betyde at der dannes en hård iset overflade på sneen, hvis sneen om vinteren eller i det tidlige forår gentagne gange tør og genfryser. Det kan gøre det svært for planteæderne at nå under sneen og få fat i de nye fremspirede skud. Det kan have alvorlige konsekvenser for planteæderbestanden. Temperaturændringer som følge af klimaforandringer er én ting, men klimaforandringerne rammer ikke kun individer og enkelt arter i et område. De påvirker hele samspillet mellem alle niveauer i økosystemet. Klimaændringer, af den størrelsesorden og med den hast som man forventer i Arktis de kommende årtier, kan derfor for nogle arter og populationer få store konsekvenser og dermed forplante sig gennem hele økosystemet.

## Videre læsning

Susan J. Kutz, Eric P. Hoberg & Lydden Polley: *TRENDS in Parasitology* Vol. 17 NO. 6 June 2001.

Lisbeth Nannested Jørgensen (red.): *Galathea 3, 2006-2007*, side 195-199, Dansk Ekspeditionsfond.

Hans Ramløv, Roskilde Universitetscenter: *Undersøgelser af antifryseproteinsystemer hos antarktiske fisk med specielt henblik på Antarktisk Sølvfisk, Pleurogramma antarcticum*. ISBN: 978-87-413-09781.

Figur 14 Renner ved Kangerlussuaq. Foto: © Jesper Ruggaard Mebus, 2012.



# TEMASIDER

Tekst:

Lisbeth Bødker-Nielsen

Hans Ramløv

Svend Erik Nielsen

## KULDETOLERANCE HOS FISK

Fisk, der lever i isfyldte farvande, hvor temperaturen kan nå ned til ca.  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  lever i konstant fare for at blive inokulerede af isen, hvilket øjeblikkeligt vil igangsætte en frysning af fiskens kropsvæsker, hvis frysepunkt er  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . For at modvirke dette problem er de i stand til at danne proteiner, der kan genkende specifikke overflader på iskrystallerne, og binde sig til disse for dermed at forhindre små iskrystaller i at vokse.

Der kendes 5 typer af antifryseproteiner hos fisk. Overordnet kan disse proteiner inddeles i to grupper; antifryseproteiner (AFP) og antifryseglykoproteiner (AFGP). Det er interessant at AFP's aminosyresekvens og tredimensionale strukturer er meget forskellige fra type til type, og alligevel har alle proteinerne de samme egenskaber, nemlig at binde sig til iskrystaller, se figur 15-17.

De 5 typer antifryseproteiner er følgende:

Antifryseproteintype	Primærstruktur	Sekundærstruktur	Størrelse	Fiskefamilie/art
Type I AFP	Alanin-rige	$\alpha$ -helix	Ca. 3 kDa	Flynder, Ulk, Ringbug
Type II AFP	Cystein-rige	$\beta$ -sheets	Ca. 14 kDa	Sild, Sea Raven (Ulk), Smelt, Havkat
Type III AFP	Ingen aminosyre repetition	Blanding af $\alpha$ -helix, $\beta$ -sheets	Ca. 7 kDa	Ålekvabbe
Type IV AFP	Glycin-rige	Meget heliske (4 x helix)	Ca. 12 kDa	Langhornet ulk
AFGP	Repeterende enheder af Ala-Ala-Thr med disakkarid bundet til Thr	Helix	2,6-34 kDa	Antarktiske Notothenoide og nordatlantiske torskfisk

## HVOR DANNES ANTIFRYSEPROTEINERNE OG HVOR FINDES DE I FISKENE?

Hovedparten af AFGP dannes i bugspytkitlen medens AFP dannes i leveren. Der er dog hypoteser om at AFP også kan syntetiseres i skind og i CNS. Fra de syntetiserende væv eksporteres proteinerne til blodbane, kropsvæsker og væsken i tarmsystemet. I tarmsystemet findes store mængder af AFP, hvilket ikke kan undre, når man tænker på, at fiskene hele tiden drikker havvand og derfor får små iskrystaller ned i maven og i tarmen.

### HVAD ER ANTIFRYSEAKTIVITETEN?

Det er vigtigt at forstå, at antifryseproteiner tilsyneladende ikke kan hæmme dannelsen (nukleationen) af iskrystaller – i hvert fald ikke i opløsninger, der ikke indeholder nogle nukleationskerner. Antifryseproteiner genkender og binder sig til *allerede dannede* isoverflader og hæmmer derved iskrystallernes vækst. **Man definerer derfor antifryseaktiviteten som temperaturforskellen mellem ligevægtfrysepunktet (smeltepunktet) og den temperatur, hvor en meget lille iskrystal i en antifryseproteinopløsning, der afkøles langsomt, begynder at vokse eksplosivt. Denne temperatur, hvor iskrystallen begynder at vokse kaldes hysterese-frysepunktet.** Således er antifryseaktiviteten målt i grader Celsius eller Kelvin = smeltepunktet - hysterese-frysepunktet. Hvis fx smeltepunktet af en fisks serum er  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  og hysterese-frysepunktet er  $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  så er antifryseaktiviteten =  $-2 - (-3,3) = 1,3$ .

### EVOLUTION AF ANTIFRYSEPROTEINER

Det er påfaldende, hvor forskellige typerne af antifryseproteiner hos fisk er, og at de så alligevel har den samme funktion, nemlig at hæmme vækst af allerede dannede iskrystaller. Den store forskellighed tyder på, at antifryseproteiner hos fisk er opstået flere gange i løbet af evolutionen, og det tyder yderligere på, at der må have været et stort selektionspres på organismene for at danne disse proteiner. Dette kan jo egentlig ikke undre, idet hvis fiskene ikke havde nogen beskyttelse mod isdannelse i de polare have, ville de blive inokuleret af iskrystaller i vandet og dø. Antifryseproteiner er således helt nødvendige for fiskenes overlevelse i de polare oceaner.

Overraskende var det derfor, da man i forbindelse med undersøgelser af antifryseproteiner hos nordatlantiske torskefisk, opdagede at dens AFGP stort set var identisk med AFGP fra overfamilien Notothenionidae, som hovedparten af fiskearterne i Antarktis tilhører. Disse to fiskegrupper har ingen nærtbeslægtet fælles stamfader og har været adskilt i ca. 20 mio. år. Man kunne med rimelighed forvente, at AFGP hos de to fiskegrupper var udviklet fra det samme stamfaderprotein. Hos Notothenionidae er AFGP udviklet fra et trypsin-lignende protein, medens man fra de nordatlantiske torskefisk ikke ved fra hvilket protein AFGP er udviklet. Det vil altså sige at AFGP hos de to fiskegrupper er udviklet fra to forskellige stamfaderproteiner og er alligevel strukturelt set ens. Dette kaldes konvergent evolution, og eksemplet fra fiskeantifryseproteinernes evolution regnes for et af de bedste inden for proteinkemien.



Figur 15 Antifryseprotein type I AFP (Ulk).



Figur 16 Antifryseprotein type II AFP (Sild).



Figur 17 Antifryseprotein type III AFP (Ålekvabbe).



# Isbjørne på tynd is

Af Svend Erik Nielsen



**Figur 1** Isbjørnen er indbegrebet af Arktis og de tilpasninger det kræver at leve der og er blevet symbolet på de pågående klimaændringer.

Foto: © Svend Erik Nielsen, 2010.

Der står den. Midt i pakisen i Grønlandshavet. Kongen af Arktis – isbjørnen. 600 km på 10 dage. En svømmetur fra Alaskas nordkyst i Beaufort Havet op til den faste is i Polhavet, det var hvad en satellitsporet isbjørn havde svømmet. Og det kan meget vel være begyndelsen på reglen snarere end undtagelsen for isbjørnen. At havisen forsvinder, er der ikke længere tvivl om. Klimaet er blevet varmere og mere uforudsigeligt med store mængder regn og blæst om efteråret. Havisen bryder op tidligere om foråret og lægger sig senere til ro om efteråret. Selv midt på vinteren kan isen finde på at ”vågne op” og brydes, for den er tynd. At havisen forsvinder, er en alvorlig sag, for havisen er isbjørnenes spisekammer og hi.

## Et hjem i havisen

Isbjørnen er om noget indbegrebet af Arktis. Den er synonym for de hvide kolde horisonter, og samtidig med er den hvide bjørn blevet et symbol på jordens klimaforandringer. Den ultimative konsekvens vil være en egentlig udryddelse. Forskerne mener, at der findes et sted mellem 20.000-25.000 isbjørne, som lever i 18 mere eller mindre isolerede bestande. (Born, 2008: Grønlands hvide bjørne).

Som rovdyr og topkonsument er isbjørnens plads øverst i det marine arktiske økosystem. Isbjørnen er med sin hvide pels og små ører tilpasset livet i kulde. Det slanke hoved og den forholdsvis strømlinede krop, gør sammen med de store forpoter isbjørnen til en fremragende svømmer tilpasset livet på isen og i havisen. Den er det største rovdyr i Arktis og har ingen naturlige fjender. Isbjørnen optræder cirkumpolart ved de arktiske havs kyster og tilbringer størstedelen af livet i tilknytning til isen.

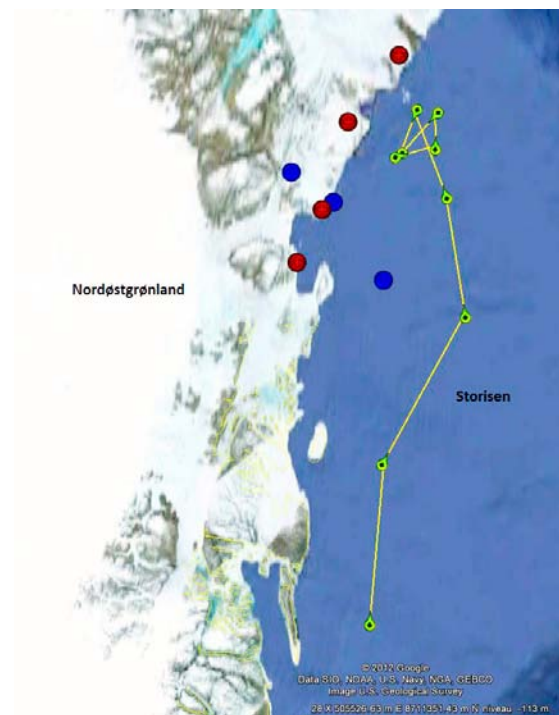
Forskere fra Canada og Grønlands Naturinstitut i Nuuk har, for at studere isbjørnens vandringsruter, sat satellitsendere på mere end 150 dyr og fundet ud af at de vandrer mellem Canada og Grønland, og at de kan vandre op til mellem 2.000 og 4.000 km på et år. Revir eller "homerange" kaldes det område en bjørn bevæger sig rundt i. "Ved at spore isbjørne med satellitsendere i Vestgrønland og Canada har man fundet ud af, at en isbjørn i gennemsnit har en homerange på ca. 135.000 km<sup>2</sup>". (Born, 2008: Nunagis-vandringsruter, s. 51)

Bestandene ved Svalbard og i Rusland er fredede, men der foregår jagt på bestandene i Grønland, Alaska og Canada.

## Havisen forsvinder

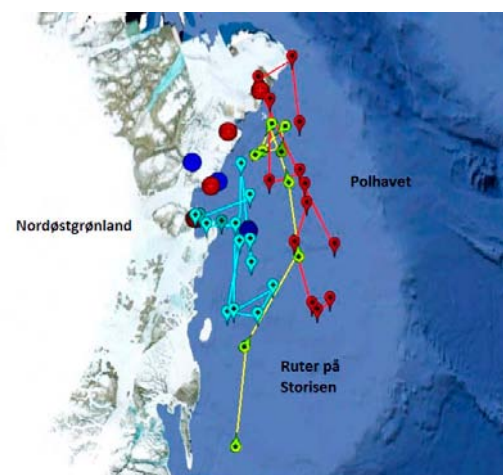
Hvis havisen forsvinder, forsvinder ringsælernerne. Og ikke kun ringsælernerne er afhængige af havisen, det gælder også remmesæl, klapmyds og grønlandssæl, der alle står øverst på isbjørnens menukort.

Via de førømtalte undersøgelser af bjørnenes vandringsruter i slutningen af 1990'erne, blev forskerne klar over at isbjørne kan have et jagtområde på størrelse med Sverige. Når havisen skrumpes, må isbjørnene efterhånden søge føde på land, hvor der ikke er meget at finde for en bjørn. Mindre sne og mere regn betyder desuden, at både bjørnenes hi og sælernes huler har større risiko for at bryde sammen i løbet af vinteren. Bryder hiet sammen giver det ikke læ for kulden. Når isen forsvinder, har det også den uheldige konsekvens, at bjørnene må bruge mere energi på at svømme i det kolde vand. Og at hunbjørnen har kortere tid til at opbygge rigeligt af de vigtige fedtdepoter. Kannibalisme har altid været en naturlig foreteelse blandt bjørnene, men hvis bjørnenes menukort indskrænkes, kan kannibalisme blive mere udbredt fremover. Dette vil være endnu en trussel mod bjørnenes overlevelse.



Figur 2 Vandringsruter for nogle isbjørnehunner i løbet af to vintre og placering af midlertidige hi (rød) og ynglehi (blå), vinteren 1993-95. (Efter Born, 1997)

Figur 3 Vandringsruter for tre radiomærkede isbjørne i Nordøstgrønland, i løbet af to somre 1993-95. (Efter Born, 1997)



## Energiforbrug

Isbjørnen lever næsten udelukkende af ringsæler. Sælspek og skind har tilsammen et højt energiindhold. Bjørnen foretrækker derfor kun at spise spek og skind. Dette gøres for at fylde fedtdepoterne op til dårligere tider, men der er også god mening i at gå efter fedt, fordi energiindholdet er på 38 kJ/g mod kulhydrat og protein som kun indeholder 17 kJ/g.

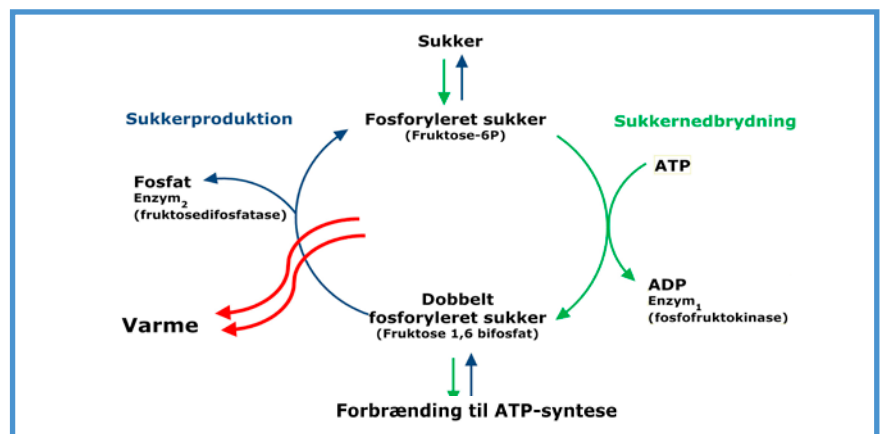
## Men hvordan produceres varme?

Pattedyr har udviklet to forskellige mekanismer til udvikling af varme. Den første mekanisme baserer sig på en øget muskelaktivitet. Det er den proces som træder i funktion, når vi får kulderystninger, altså en form for ufrivillig muskelaktivitet. Effektiviteten af muskelarbejdet er nede på omkring 25 %, hvilket betyder at der bliver dannet en del varme. Denne termogenetiske proces er den vigtigste akutte varmeproducerende proces hos mennesker og dyr.

Den anden mekanisme til at producere varme omfatter tre typer: 1) Substrat-cykler, 2) Skjoldbruskkirtelhormon-induceret termogenese og endelig 3) Brunt fedtvævs-termogenese.

1. Substrat-cykler refererer til den situation som fx foregår i glykolyzen, hvor sukker omsættes. Omsætningen af fruktose-6-fosfat til fruktose-1,6-difosfat og tilbage til fruktose-6-fosfat katalyseres de to enzymer fosfofruktokinase og fruktose-1,6-difosfatase (se fig 2, naturens verden). Såfremt begge enzymer er aktive samtidig, opstår der en cyklisk proces, der medfører ATP-hydrolyse og dermed produktion af varme.
2. Skjoldbruskkirtelhormon-induceret termogenese. Basalstofskiftet hænger sammen med aktivitet i Skjoldbruskkirtlen. Det ved man fra personer med Basedows syndrom, der både har forøget hormon- og varmeproduktion.
3. Brunt fedtvævs-termogenese. I forbindelse med opretholdelse af kropstemperaturen hos nyfødte har man fundet et specielt organ – det brune fedtvæv. De er kendetegnet ved at indeholde særlig mange mitochondrier og have en stor blodtilførsel (se boks).

Figur 4 Et eksempel på en substrat-cyklus er den cykliske omdannelse af fruktose-6-fosfat til fruktose-1,6-difosfat, som finder sted i glykolyzen. Såfremt enzymerne fosfofruktokinase og fruktose-1,6-difosfatase er aktive samtidig opstår der en cyklisk proces. Denne proces resulterer i hydrolyse af ATP og dermed varmeproduktion.



## Varmehusholdning hos isbjørnen

Isbjørne opretholder en konstant kropstemperatur på 36-38 °C. Vand har stor varmeledningsevne, hvilket konstant udsætter isbjørnen for højt kuldestress.

Isbjørnen kan begrænse varmetabet på flere måder:

- 1) ved at have et tykt isolerende spæklag
- 2) ved at have pels
- 3) ved at lægge sig på is eller land for at optage solvarme.

Alle levende organismer har brug for en eller anden form for oplagsnæring. Kulhydrat og triglycerider er velegnede energidepoter. Kulhydrat fylder meget og er tungt i forhold til energiindholdet. Det betyder ikke noget for planter som jo ikke skal bevæge sig, men for dyr som skal bevæge sig meget er triglycerider en mere optimal energiform, dels fordi det indeholder mere end dobbelt så meget energi pr. gram, dels fordi det ikke binder så meget vand, og altså derfor ikke er så tungt at transportere.

Selvom lipider er betydeligt mere energifulde, så frigøres der mere energi pr. liter O<sub>2</sub> ved forbrænding af kulhydrater. Der frigøres 20,5 kJ/L ved forbrænding af kulhydrat mod 19 kJ/L ved forbrænding af lipider.

En isbjørn, fx en voksen hun på ca. 200 kg, har brug for ca. 70.000 kJ energi om dagen for at bevæge sig og holde varmen. Det svarer til, at der skal ædes et par kg spæk om dagen. (Born, 2008).

Sagt med andre ord så skal isbjørnen helst fange en sæl en gang om ugen for at dække sit energi behov.

I vinterperioden er sæler og andre byttedyr ikke nemme at få fat i. I den periode går mange bjørne i hi for kortere eller længere tid for at spare energi. De drægtige isbjørnehunner ligger i hi uden at tage føde til sig i mange måneder. Mens hun ligger i hiet tærer hun derfor på sit eget energidepot, og kan tabe sig op mod 0,9 kg om dagen. På 6 måneder kan det blive til et vægttab på ca. 150-160 kg, som må erstattes ved at bjørnen æder intensivt om foråret. (Born, 2008).

## Et liv på fedt

Fedt er essentielt for bjørnen, dels som energikilde dels til opbygning af det tykke isolerende spæklag. Omkring 97 % af det fedt, isbjørnen æder, bliver optaget i dens tarmsystem. Den kan leve af spæk alene i en kort periode. Spæk indeholder mere end dobbelt så meget energi pr. gram som protein og kulhydrat. Bjørnen foretrækker da også spæk frem for protein. Dels fordi kød består af proteiner, der kræver vand for at blive nedbrudt, dels fordi der ved nedbrydning af protein produceres det giftige ammonium som skal skaffes af vejen via udskillelse af urinstof, og endelig får den vand fra forbrændingen af spæk.

### HVAD ER SPÆK?

Spæk består af forskellige fedtstoffer, fx triacylglycerol og frie fedtsyrer, samt af protein og kollagen (dvs. bindevæv og vand). Fedtindholdet er højt og varierer efter spækkets placering på dyret, årstiden og alder. Et højt indhold af umættede fedtsyrer i forhold til mættede, betyder at spækket ikke stivner ved lave temperaturer. Spæk udgør mellem 15-25 % af isbjørnen, men hos sæler og hvaler er det helt op til 40 %.

## Respiration af lipider

Lipider kan indgå i respirationsprocesserne. Første fase i nedbrydningen er en hydrolyse, hvorved triglycerider kløves til glycerol og fedtsyrer. Hver kløvning koster et vandmolekyle.

Den trinvis kløvning af fedtsyrerne kaldes under et for beta-oxidation. Derved dannes NADH og FADH<sub>2</sub>, som overføres til elektrontransportkæden. I elektrontransportkæden frigives dog vand i flerfold. Er der ilt tilstede, afgives elektronerne til et andet enzymkompleks der afleverer dem til ilt, således at der dannes vand (se fig. 5).

Lipider er mere energiholdige end kulhydrater og proteiner. Ved forbrænding af lipider frigøres 38 kJ/g, mens der ved forbrænding af protein og kulhydrat frigøres 17 kJ/g. Forskellen skyldes at bindingerne i lipidernes kulbrintekæder er mere reducerende og energifulde.

## Brunt fedt

Ligesom en række andre arktiske pattedyr udvikler isbjørnen brunt fedt, bl.a. for at modvirke den kritiske situation der opstår når en unge fødes og udsættes for kraftigt kuldechok. Dette brune fedtvæv, der har mange mitochondrier og er rigt forsynet med blodkar og nerver, kan i modsætning til det hvide fedt omsættes og forbrændes hurtigt, hvorved der produceres varme. Energien fra det brune fedt kan give dyret et varmetilskud på få minutter. Det høje indhold af mitochondrier og den store blodgennemstrømning er funktionelt koblet. Årsagen til den store blodgennemstrømning er, at produktionen af varme i brunt fedtvæv foregår på basis af fedtforbrænding, hvortil der kræves ilt. Mitochondrier findes i alt væv og producerer energi ved respiration. Den fundamentale forskel mellem hhv. det brune fedtvæv og andet væv ligger i, hvordan den frigjorte energi (ATP) anvendes. I muskelceller kan ATP

### FEDT ELLER KULHYDRAT?

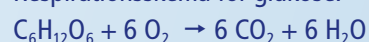
Isbjørnen har det største energilager i form af fedt og kun et lille lager af glykogen. Glykogenlageret vil kunne dække bjørnens energiforbrug i ganske få dage, hvorimod energilageret i fedt og protein vil kunne holde bjørnen i live flere måneder. Fedt er en væsentlig bedre måde at oplagre energi på end kulhydrater bl.a. fordi kulhydrater binder væsentligt mere vand end fedt gør.

De beregnede energimængder der er tilgængelige for muskelkontraktion hos et menneske på 70 kg med en muskelmasse på 26 kg fremgår af tabel 1. (Bremer, 2000)

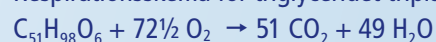
Fedtstoffer er mere reducerede end kulhydrater. Deres indhold af H er større og derfor skal der bruges relativt mere O<sub>2</sub> til at

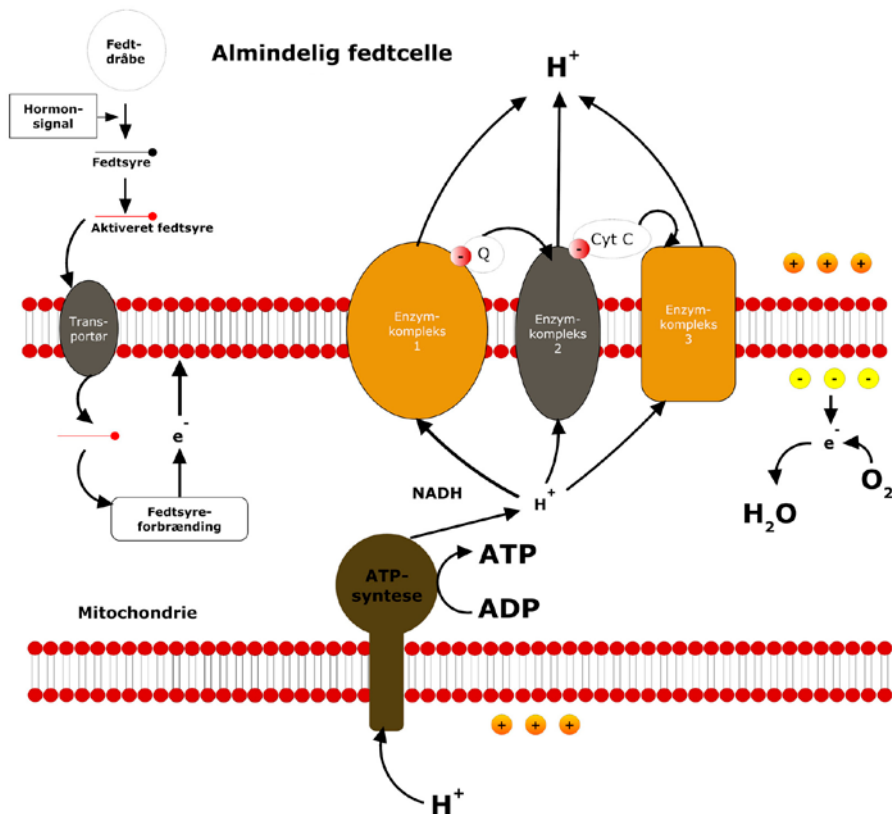
oxidere fedtstoffer til CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>O, end der skal bruges til at oxidere kulhydrater. Til gengæld skabes der, som det ses af nedenstående respirationsskema for glukose, mere H<sub>2</sub>O ved respiration af fedt end ved respiration af sukker. Hvordan skabes vand ved fedtforbrænding?

Respirationsskema for glukose:



Respirationsskema for triglyceridet triplamitin:





Figur 5 Et hormon signal starter fedtsyrer forbrændingen i en almindelig fedtcelle. De ved forbrændingen frigjorte elektroner ( $e^-$ ) ledes igennem elektrontransportkæden i mitochondriernes membraner og afleveres til sidst til  $O_2$ , hvorved der produceres vand. En del af den energi, der frigøres ved overførsel af elektroner igennem elektrontransportkæden, anvendes til at transportere protoner ( $H^+$ ) ud af mitochondrierne. Der opbygges derved en høj koncentration af protoner udenfor mitochondrierne. Protonerne vil derfor forsøge at komme ind igen og i en almindelige fedtceller kan dette kun ske via ATP-syntetase, hvorved der dannes ATP. (Efter Knudsen, 1995)

Tabel 1

Energikilde til muskelarbejde	Maksimal ATP-produktion [mmol/s]	Tilgængelig mængde energirige fosfatbindinger ( $\sim PO_4^{3-}$ ) [mmol]
Muskel ATP		223
Kreatinfosfat	73,3	446
Muskelglykogen til laktat	39,1	6.700
Muskelglykogen til $CO_2$	16,7	84.000
Leverglykogen til $CO_2$	6,2	19.000
Fedtvævet fedtsyrer til $CO_2$	6,7	4.000.000

anvendes til at udføre kontraktioner af muskler. I modsætning hertil kan mitochondrier fra brunt fedt afkoble ATP-syntesen og frigøre en del af energien som varme. Denne afkobling af ATP-syntesen kræver tilstedeværelse af det protonledende protein kaldet termogenin. (Knudsen, 1995).

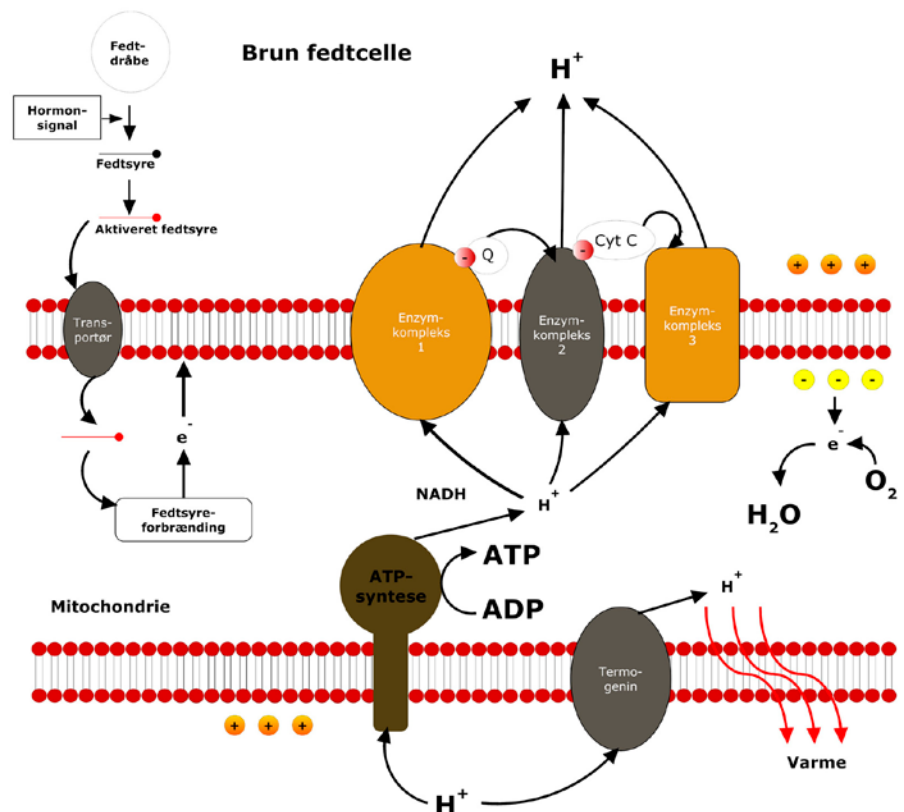
Inden introduktionen af termogenins funktion er det nødvendigt at forklare hvordan mitochondrierne normalt fungerer. Ved respiration eller forbrænding kløves bindingerne mellem kulstof og brint, og elektronerne overføres til ilt under dannelse af vand og kuldioxid. Herved frigives store mængder energi. Overførslen af elektroner fra fx fedt til ilt sker gennem en dertil indrettet elektrontransportkæde lokaliseret i mitochondriernes membran. Under transporten af elektroner gennem kæden er frigivelsen af energi koblet til en protonpumpe. Udpumpningen af protoner

bevirker, at der etableres en højere koncentration af protoner og dermed overskud af positiv ladning uden for mitochondrier. Derved er der dannet en spændingsforskel over mitochondriemembranen. Denne spændingsforskel vil protonerne forsøge at udligne, og som et andet vandkraftværk vil protonerne strømme tilbage i mitochondrierne omkring de protonporte som findes i membranen. En af disse porte er koblet til enzymet ATP-ase, indstrømningen af protoner driver ATP-ase-porten således at ADP omdannes til ATP. Den producerede ATP transporteres ud af mitochondrierne og kan bruges i cellen til fx at drive  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  pumpen.

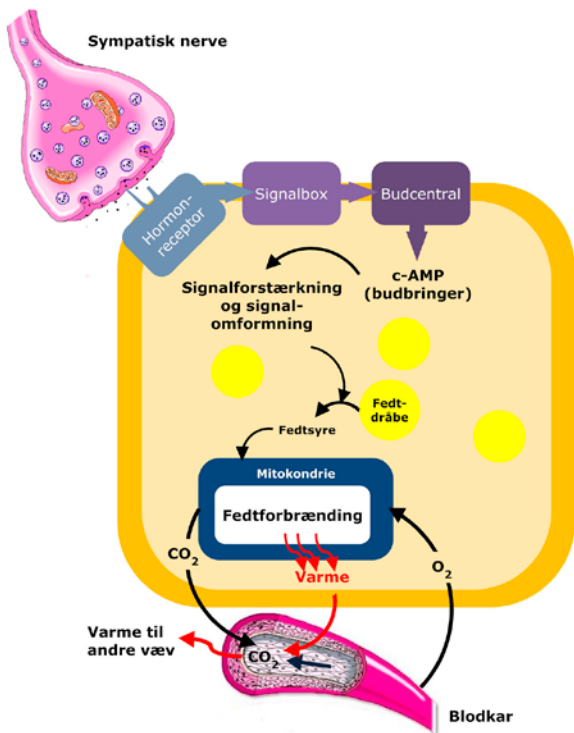
Termogenin findes i det brune fedtvævs mitochondriers membraner. Dette protein transporterer som ATP-asen protoner ind i mitochondrierne, men til forskel fra andre protonporte er termogenin-porten ikke koblet til et enzym som producerer ATP. Derfor frigives den energi, der midlertidig var deponeret i protonkoncentrationsforskellen, som varme i brunt fedtvæv.

### Reguleringen af varmeproduktionen

Reguleringen af varmeproduktionen styres af transmitterstoffet noradrenalin fra det sympatiske nervesystem. Når der er behov for øget varmeproduktion aktiverer centralnervesystemet det sympatiske nervesystem, hvilket resulterer i en forøget frigivelse af noradrenalin til det brune fedt. Noradrenalin binder sig til specifikke receptorer i fedtceller i det brune fedtvæv og igangsætter en produktion af cyklisk AMP (c-AMP) fra cellemembranen og re-



Figur 6 I mitochondrierne i brunt fedtvæv kan returtransporten af protoner ske på to måder: dels gennem ATP-syntetase og dels via specielle protonledende proteinmolekyler, kaldet termogenin. Sker protonindstrømningen gennem disse termogenin proteinmolekyler dannes der ikke ATP, men udelukkende varme. (Efter Knudsen, 1995)



Figur 7 I brunt fedtvæv optræder fedt som små fedt dråber. Når varmeproduktion er nødvendig sker det efter at temperaturreguleringsfølere i kroppen og i hjernen har registreret kulde. Gennem det sympatiske nervesystem sendes der besked fra hypothalamus til det brune fedtvæv. Det sker ved at der frigives noradrenalin til det brune fedtvæv. Noradrenalin binder sig til specifikke receptorer i fedtcellernes membraner og igangsætter en signallavine, hvorved fedtsyrer frigives fra fedtdråberne. Fedtsyrerne transporteres derefter ind i mitochondrierne, hvor de forbrændes og den frigjorte energi afgives som varme. Brunt fedt har en stor forsyning af blod, som sikrer ilttilførsel og som muliggør en effektiv borttransport af den producerede varme.

Stof	Energiindhold pr. g stof (kJ)	O <sub>2</sub> forbrugt pr. g stof (l)	CO <sub>2</sub> dannet pr. g stof (l)	CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> : RQ	Energi frigjort pr liter O <sub>2</sub> brugt (kJ)
Kulhydrat	17	0,83	0,83	1,0	20,5
Triglycerid	38	2,00	1,40	0,7	19,0
Protein	17	1,00	0,80	0,8	17,0

Tabel 2 viser energiindhold, O<sub>2</sub>-forbrug, CO<sub>2</sub>-frigivelse, forholdet mellem CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>, samt frigjort energi for kulhydrat, triglycerid og protein. (Efter Bremer, 2000)

sulterer i en frigivelse af fedtsyrer fra fedtdråberne i det brune fedt. Som det fremgår af figur 6 om brunt fedt, så forbrændes de frigivne fedtsyrer i mitochondrierne, hvor termogenin katalyserer processen og forbrændingsenergien frigives som varme. Det brune fedt er placeret forskellige steder rundt i kroppen. Hos nyfødte børn findes depoter af brunt fedt under huden på ryggen og omkring halsen. Denne fordeling er optimal i forhold til varmefordelingen, idet en meget stor del af blodet netop passerer gennem kropspulsåren til nyrerne, hvorved blodet kan sørge for transporten af varme rundt i kroppen.

Samtidig med at triglycerider indeholder mere vand end kulhydrater og proteiner, så er energiindholdet pr. g stof mere end dobbelt så højt. (Bremer, 2000).

Som det ses af tabel 2, bruges der forholdsvis mere O<sub>2</sub> til at oxidere det mere reducerede triglycerid end det mere oxiderede monosakkarid. Den mængde CO<sub>2</sub> der produceres i forhold til den mængde O<sub>2</sub> der bruges kaldes den respiratoriske kvotient (RQ).

Jævnfør ovenstående er RQ for fedt:  $RQ_{\text{fedt}} = \frac{51}{72,5} = 0,7$

For sukker:  $RQ_{\text{sukker}} = \frac{6}{6} = 1$



## Et liv uden vand

Pattedyr som lever i tørre ørkenområder, har normalt ikke adgang til vand. Det sammen gælder for bjørne i hi, som må klare sig med vand fra respirationen. Respiration af fedt giver flerfold mere vand end respiration af kulhydrat. ADH bevirker at urinen koncentrerer, så der kun dannes et minimum af urin hos bjørne i hi.

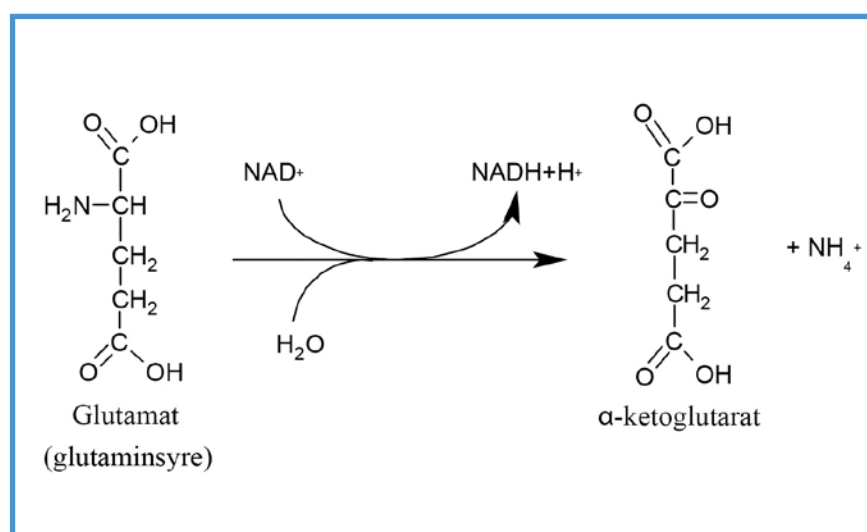
Vand bruges normalt i stofskiftet, hvor store molekyler skal adskilles. Fx i forbindelse med fordøjelse af kulhydrater, proteiner og fedt. Vandet bruges i forbindelse med kløvning/spaltning af glykosid eller peptidbindinger. Processen kaldes hydrolyse og praktiseres af hydrolaser, hvoraf den vigtigste gruppe er fordøjelses-enzymmer.

Selv ved faste skal cellerne bruge ATP til varmeproduktion og  $\text{Na}^+$ / $\text{K}^+$ -pumperne. Derfor er energiproduktionen nødvendig hele tiden. Ilt bruges normalt i dette stofskifte, hvor fødens kemiske energi omdannes til cellers brændstof - det energirige molekyle ATP. For at få det fulde udbytte af næringsstofferne kræves ilt. Man kunne spørge om ilt er en begrænsende faktor i hiet? Til dette kan svares, dels at ilt kan diffundere gennem snetaget ned i hiet, dels at forbruget af ilt ikke stort for den fastende bjørn.

## Omsætning af proteiner

Hvorfor forbrænder isbjørne i hi fedt i stedet for protein? Proteiner er bygget op af aminosyrer som hver indeholder en aminogruppe. Problemet med disse aminogrupeer er, at de skal kløves fra før resten af aminosyren kan indgå i respirationen. Dette er ikke løst ved at flytte aminogruppen over på alfa-ketoglutarat, herved dannes blot en ny aminosyre. Men aminogruppen kan spaltes fra glutamat under dannelse af ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) – denne proces kaldes oxidativ deaminering. Ammonium er giftigt for celler og blod og skal fjernes hurtigt og effektivt. (Bremer, 2000).

Figur 8 Deaminering af overskydende aminosyrer sker i leveren. Ved deaminering kløves aminogruppen fra aminosyren og den resterende alfa-ketosyre indgår i cellernes respiration.



## URINSTOF

At producere urinstof er en god måde at løse problemet med at slippe af med det giftige stof ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) på. Det gælder om at holde koncentrationen af ammonium lav hele tiden, og det kan gøres ved som fisk at frigive ammonium til vandet eller som landlevende dyr og fugle ved at lave urinstof. Pattedyr og landlevende padder gør det ved at lave urinstof. For at afgive urinstof

med urinen kræves en mindre mængde vand. Dog mere end når det drejer sig om dannelse af urinsyre.

Det er udelukkende ved omsætning af proteiner at der skabes urinstof. Dette sker ikke når fedt eller kulhydrat omsættes eller forbrændes. Ved omsætning af protein dannes ammonium. Der er en omkostning ved dette; nemlig at det

koster energi at slippe af med ammonium.

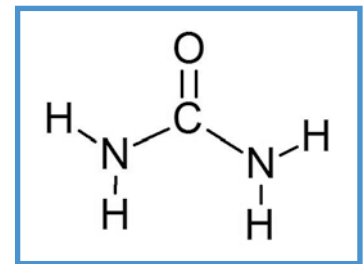
Ved at forbrænde fedt undgår bjørnen at danne urinstof og har altså ikke problemet med at skulle skaffe sig af med urinstof. Samtidig har undersøgelser vist, at der er en sammenhæng mellem frigivelsen af dynorfin og ADH fra hypothalamus ved dehydrering, således at genoptaget af vand optimeres.

Overskydende aminosyrer nedbrydes ved deaminering i leveren. Først overføres aminogruppen fra aminosyrer til alfa-ketoglutarat under dannelse af glutamat, dernæst deamineres glutamat og der dannes ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Da ammonium er giftigt for cellerne, omdannes det til urinstof via en cyklisk proces kaldet urinstofcyklus. Urinstof udskilles gennem nyrerne.

## Hvorfor går isbjørnen i hi?

En ting er hvordan en bjørn kan opholde sig i hiet gennem 6 måneder, noget andet er hvorfor den gør det. I en verden, hvor vinteren er ekstrem hård med minimal tilgang af føde, er det en ekstrem tilpasning at kunne gå i hi, hvis man skal kunne føde unger. Hunnen går i hi, fordi hun er gravid. I hiet kan temperaturen være mere end 20 °C varmere end den omgivende temperatur. En ting er at bjørnen går i hi for at holde varmen, men hunnen opholder sig flere måneder fastende og inaktiv. Inaktiv ja, men for hunnens vedkommende også gravid. Dette at være fastende og samtidig gravid er en helt usædvanlig situation. At isbjørne er gravide om vinteren, hvor de også er fastende stiller enorme krav til at spare på energien, der skal bruges til vækst og opfostring af ungerne. I det lys er det forståeligt at ungerne ved fødslen kun vejer omkring 600 g og ikke 25 kg, som man kunne forvente ved at sammenligne moderens vægt med andre store pattedyr og deres afkom.

Ægløsningen aktiveres af selve parringen. Det befrugtede æg ligger i dvale (forlænget drægtighed), hvor det ikke udvikler sig, før det sætter sig fast til livmoderens væg en gang i slutningen af oktober/begyndelsen af november. (Born, 2008)



Figur 9 Urinstof.

Ved langvarig faste sker der hos pattedyr en svækkelse af muskler og knogler. Dette opleves ikke hos isbjørne, fordi de forbrænder fedtdepoter, mens de ligger i hi. I hiet drikker bjørnen ikke, men får vand ved at forbrænde fedt. Proteiner og kalk som nedbrydes ved stofskiftet genanvendes i hunnernes krop.

### **Hvad sker der i hiet?**

For nogle år siden satte en gruppe forskere sig for at undersøge, hvad der sker, når bjørne går i hi. Den fysiologiske gåde er nemlig, hvordan bjørne i hi overlever ikke at drikke vand gennem flere måneder og samtidig holde varmen og endda føde unger i visse tilfælde.

Dette stof gør det muligt for isbjørnehunnen at ligge i hi fra oktober til april. I disse 6 måneder faster hun og i midten af perioden føder hun som regel 1-2 unger. I hiet lever isbjørnen af at forbrænde de rigelige fedtreserver, som opbygges sommer og efterår. Under fasten kan hun miste op imod 30 % af kropsvægten, eller omkring 1 kg om dagen. Ved forbrænding af fedt fås vand, men i hiet afgives hverken urin eller afføring. (Born & Böcher (red.), 1999).

Hvordan kan bjørne overleve ikke at drikke vand gennem flere måneder og samtidig holde varmen? Under normale forhold sikrer stofskiftet den nødvendige kropstemperatur, og denne proces producerer en række affaldsstoffer. Ved omsætning af protein til energi dannes ammonium som er giftigt. Ammonium omdannes til affaldsstoffet urinstof, som bjørnen skaffer sig af med via urinen. For at dette kan ske kræver nyrerne et minimum af vand for at kunne fungere. Det har vist sig, at bjørnen producerer et særligt stof, der nedsætter stofskiftet og dermed produktionen af affaldsstoffer. Hibernin som dette aktive stof kaldes, er et peptid i familie med enkefalin – et såkaldt opioid, et opiumsstof som dyr og mennesker naturligt producerer. Se boks om hibernin.

Udover at bjørnen producerer hibernin, så sker der også en produktion af hormonet ADH/vasopresin som begrænser urinproduktionen. Dette er vigtigt i forbindelse med bjørnens liv i hiet. Proteiner, der nedbrydes under et normalt stofskifte, recirkuleres, idet urinstof genbruges til opbygning af aminosyre. Også kalcium recirkuleres, så der ikke sker en afkalkning af knogler.

### **Hibernin og overlevelse**

Efter at man har kunnet fremstille hibernin syntetisk, har resultater vist at stoffet er i stand til at nedsætte stofskiftet i levende organismer. Ved transplantationer og svær tilskadekomst har denne effekt vist lovende resultater. Tilsætter man hibernin til den væske som transplanterede organer transporteres i, opnås en længere holdbarhed af organet på mellem 5 til 6 gange. Denne længere holdbarhed af organer udenfor kroppen kan betyde bedre resultater ved transplantationer.

## HIBERNAL

Når bjørne går i hi producerer de et specielt stof kaldet hibernal, stoffet nedsætter stofskiftet og dermed produktionen af affaldsstoffer. Hibernal er et peptid, som er i familie med enkefalin, altså en slags opioid. Forsøg med syntetisk fremstillet hibernal har vist, at stofskiftet i levende orga-

nismer nedsættes. Denne effekt vurderes at have stor betydning i forbindelse med tilskadekomster og organtransplantationer. Det har vist sig at hvis man tilsætter hibernal til den væske som et organ til transplantation transporteres i, så opnås en længere overlevelse af organet. Resultater fra den amerikanske hær,

har vist, at giver man hibernal til sårede soldater, så bedres overlevelsen betydeligt. Effekten skyldes at stofskiftet nedsættes og dermed reduceres kravet om ilt og næringsstoffer, og samtidig nedsættes dannelsen af affaldsstoffer.

Undersøgelser af tilskadekomne soldater i den amerikanske hær, tyder på at behandling med hibernal er med til at højne overlevelsesmulighederne. Også her ligger effekten i at nedsætte stofskiftet i det tilskadekomne organ eller væv. Når stofskiftet nedsættes reduceres kravet om ilt og næringsstoffer, men væsentligst så nedsættes mængden af affaldsstoffer. Når produktionen af affaldsstoffer nedsættes, kan man bedre overleve et stort blodtab eller en punkteret nyre eller lunge. (Rindom, 1999).

## Isbjørnen tilpasset til livet i kulde

Isbjørnen er om nogen veltilpasset til det arktiske klima, man fristes næsten til at sige, at den er integreret med kulden og den arktiske isørken. Den kraftige selektion i Arktis, som følge af store udsving i is forekomst og temperatur, har bevirket at isbjørnen har været nødt til at udvikle tilpasningsmekanismer gennem mange årtusinder. Denne ultimative tilpasning kan imidlertid vise sig at være en ulempe når klimaet forandrer sig. Paradoksalt nok kan det netop være denne ultimative tilpasning, som kan være med til at udrydde bjørnene på den lange bane, i fremtiden.

På den anden side har isbjørnen i løbet af sin udviklingshistorie opbygget en fantastisk evne til at tilpasse sig mellem varme og kulde, is og ingen is. Evnen til at kunne bevæge sig over store områder og evnen til at svømme over store afstande kan, sammen med, at den tåler langvarig faste vise sig at være de væsentligste redskaber til tilpasning til en fremtidig overlevelse i et klima der undergår forandringer.

Isbjørnen har altid været vant til at gå på land i perioder, hvor der ikke har været jagtmarker af is. Spørgsmålet er imidlertid, om en forlængelse af hunbjørnens fasteperiode til 8 måneder kan påvirke bestandens formeringsevne.



Figur 10 Met-enkefalin (øverst) og Leu-enkefalin.

## KOLDE POTER

Selv med pels og tykt spæklag kan isbjørnens poter blive kolde – eller kan de. Isbjørnen reducerer det store varmetab som sker fra poternes store overflade ved det såkaldte modstrømsprincip. Arterierne som kommer med det varme blod fra kroppen til arme og ben, ligger intimt omkranset af venerne som transporterer det køligere blod som kommer fra dyrets ekstremiteter. Herved opnås en varmeregulerende effekt fra det varme arterieblod til det køligere veneblod, hvorved varmetabet til omgivelserne minimeres.

## Flere eller færre isbjørne

På isbjørnenes motorvej mellem Nordgrønland og Svalbard ligger en af de primære jagtmarker for isbjørnen. Dette område i Nordøstgrønland har i dag et relativt kontinentalt, højarktisk klima. Lange og meget kolde vintre med relativt lidt sne, samt korte, kølige og solrige somre. En næsten ubrudt frostperiode fra september til begyndelse af maj afbrydes af sommeren, som er nedbørsfattig og med temperaturer mellem 0 og 10 °C.

Det flere hundrede kilometer brede bælte af storis, som driver ned langs Grønlands østkyst, er med til at skabe det kontinentale klima, som i dag kendetegner Nordøstgrønland. Den fremtidige reduktion af havisen vil betyde at klimaet vil ændre sig i retning af vore dages lavarktiske klima, som kendes fra det sydlige Grønland.

## Isbjørne på græs eller tynd is

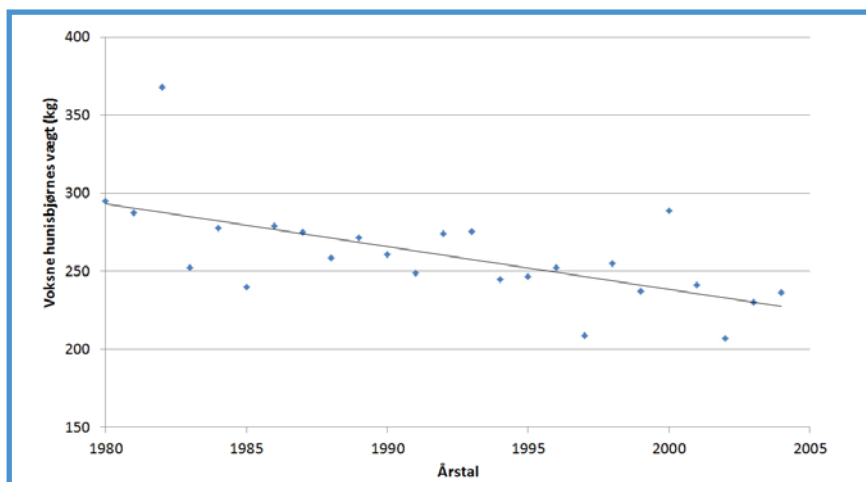
Som titlen på denne artikel indikerer, så er udbredelsen af havisen i Arktis gennem den seneste tid blevet mindre. Det betyder alt andet lige, at isbjørnens jagtmarker er skrumpet ind i størrelse. Derfor finder man oftere og oftere isbjørne på land fx i nationalparken i Nordøstgrønland og på Svalbard, hvor man kan opleve dem gå og græsse. Ydermere presses bjørnene tættere og tættere på bebyggede områder i deres jagt på føde. I sommeren 2010 angreb en sulten isbjørn en forsker på Clevering Ø i den grønlandske nationalpark. Man var derfor nødt til at skyde den i selvforsvar – og det man fandt i dens mave var kun tang!

Oftere og oftere møder man bjørne som vejer langt under den normale vægt og man hører om bjørne som på tom mave har angrebet turister.

## Konklusion

Tragikomisk er det, at giftstoffer fra den industrialiserede verden bringes med luft og hav til Arktis, hvor de ophobes i bjørnene, med katastrofale konsekvenser som nedsat immunforsvar, infertilitet og effekter på centralnervesystemer som følgevirkning.

Når der så samtidig er ved at ske en indskrænkning af jagtmarkernes størrelse og dermed mulige fødeemner, må man konkludere at fremtidsudsigterne ikke er lyse. Dette gælder i særdeleshed også når man ser, hvorledes olieeftersøgningsaktiviteterne ved Grønland har taget til i de seneste år. Den forøgede interesse for at lede efter olie vest for Disko og i Nordøstgrønland, kan betyde et endeligt for bjørnene i tilfælde af et olieudslip. Det er derfor af stor vigtighed at man får gang i bestandsundersøgelser og mærkninger og får talt og registreret isbjørnene. Disse redskaber kan fungere som grundlaget for at vurdere isbjørnebestandens overlevelse og dermed isbjørnens fremtidsudsigte.



**Figur 11** Voksne hunnbjørnes gennemsnitsvægt er faldende fra lidt under 300 kg i 1980 til ca. 230 kg i 2004. Man anser dette vægttab skyldes manglende muligheder for at skaffe sig føde på grund af manglende egnede jagtsteder ved isranden. Det betyder at isbjørnene har sværere ved diegivning til ungerne og bestanden kan dermed anses for truet.

### Litteratur og videre læsning:

- ACIA (2004): Arctic Climate Impact Assessment, Impacts of a warming Arctic, Cambridge University Press.
- Born, E. W. (2005): *Grønlands hvalrosser*. Ilinniusiorfik Undervisningsforlag, Nuuk.
- Born, E. W. & Böcher, J. (red.) (1999): *Grønlands økologi*. Atuakkiorfik Undervisning, Nuuk.
- Born, Erik W. (2008): *Grønlands hvide bjørne*. Ilinniusiorfik. Pinngortitaleriffik. Grønlands Naturinstitut.
- Born, Erik W. et. al. (1997): Bjørne ved et polynie. *Naturens Verden* vol. 3/1997.
- Bremer, Jens (2000): *Biokemi og molekylærbiologi*. Nucleus Forlag, 2. udgave.
- Elverland E. (2009): *The Arctic System*. Norsk Polarinstitut.
- Knudsen, Jens (1995): Den indre varme. *Naturens Verden* vol. 10/1995, s. 389-400.
- Rindom (1999): *Rusmidlernes biologi*, Sundhedsstyrelsen.

# En arktisk bøvs af metan

Klimaforskning ved forskningsstation  
Zackenberget i Nordøstgrønland

Af Svend Erik Nielsen

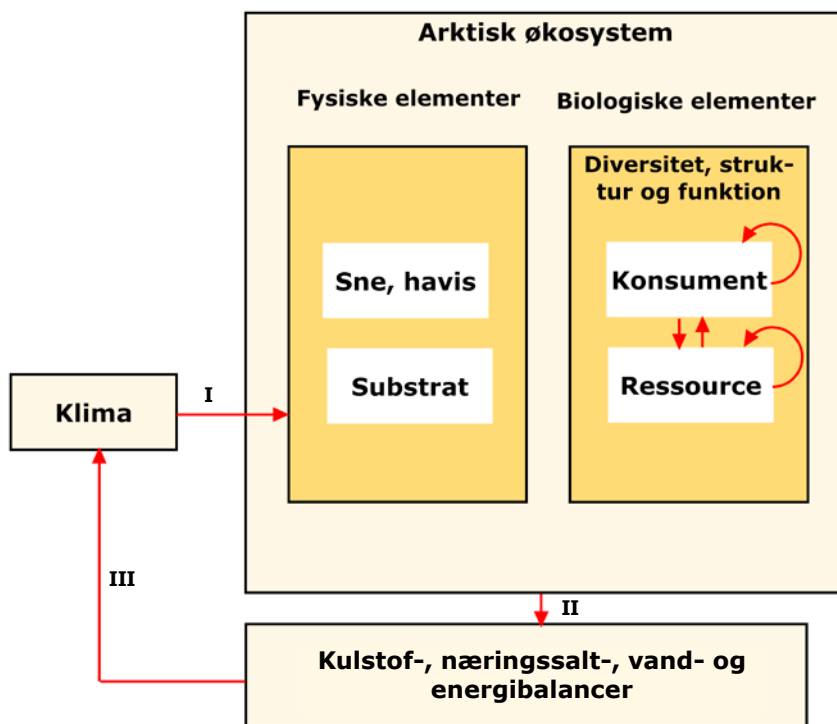
At jordmiljøet har betydning for plantevæksten er naturligt nok, men at den globale drivhuseffekt har forbindelse til jordmiljøet, er måske mere overraskende. På den anden side ved vi godt, at mikroorganismer i jorden ånder, altså laver respiration, og at der derved frigives kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ) fra alle typer af jorde. Dette kaldes jordånding. Det er denne omsætningsproces som betyder, at dødt organisk materiale kan omsættes til uorganiske næringssalte til gavn for plantevæksten. Stoffkredsløbene har stoppested i jordens lagre af næringsstoffer og vand. En temperaturstigning vil betyde, at næringsstofferne stoppes i kortere tid i jordmiljøet, hvilket påvirker det globale kulstofkredsløb. Klimaet bestemmer således jordens deponering og frigivelse af organisk stof. Da de arktiske tundra jorde rummer store lagre af kulstof, kan der fremover ske en potentiel accelerering af kuldioxid i atmosfæren.

At plantedække har stor betydning for optagelse af  $\text{CO}_2$  og frigivelse af ilt ( $\text{O}_2$ ) er logisk, dels fordi planter laver fotosyntese og dels fordi de respirerer som andre levende organismer. Hvad der kan lyde mere overraskende er, at jordbunden er en særdeles vigtig bidragsyder til atmosfærens indhold af drivhusgasser og dermed til drivhuseffekten. På den lange klimabane er jordbunden en ligeså vigtig spiller – som planternes fotosyntese- og respirationsaktivitet. Faktisk er balanceforholdet mellem de to processer det vigtigste omdrejningspunkt i klimadebatten.

Lidt forenklet kan man illustrere det komplekse forhold mellem de arktiske økosystemer, kul- og vandbalancen og klimaet med følgende model (se figur 1). Hvor ændringer i det store atmosfærehav-klimasystem (pil I) vil påvirke det arktiske økosystems abiotiske og biotiske faktorer, som igen vil respondere (pil II) på kulstof- og vandbalancen, som så igen vil have indflydelse på klimaet (pil III).

## Arktiske planter påvirker klimaet

Forskere fra Københavns Universitet (Eberling, 2005) har fundet ud af, at selv en forholdsvis lille temperaturstigning på to grader i de subarktiske egne vil komme til at betyde frigivelse af store



Figur 1 Et arktisk økosystem, der viser sammenhængen mellem klima og de abiotiske og biotiske faktorer, og hvorledes det samspil påvirker C-balancen, nærings-saltbalancen, vandbalancen og energibalancen.

mængder reaktive drivhusgasser. Det drejer sig særligt om  $\text{CO}_2$  og metan ( $\text{CH}_4$ ). Arktiske jordbundstyper dækker op mod fem procent af jordens samlede jordareal. Til trods for dette gemmer disse tørvejerde en mængde kulstof, som svarer til ca. halvdelen af drivhusgasserne i atmosfæren.

Planter og jord er gennem lange feltstudier i små drivhuse af plexiglas undersøgt for hvornår  $\text{CO}_2$  optages eller frigives. Disse feltundersøgelser er bl.a. udført ved den Naturvidenskabelige Station i Abisko i Nordsverige.

### Jordbunden og permafrosten

Klimaet bestemmer jordens opbygning, omsætning og frigivelse af organisk stof i form af kuldioxid og metan. Da de arktiske tundraområder rummer meget store depoter af kulstof i form af organisk stof, kan der fremover ske en potentiel accelereret stigning af  $\text{CO}_2$  til atmosfæren, hvis dele af permafrosten svinder ind.

Sker der, samtidig med en større optøning af områder med permafrost, en stigning i nedbør vil det betyde større frigivelse af metan ( $\text{CH}_4$ ) fra kærsumfundene i Zackenbergdalen. Og metan er en væsentlig mere potent drivhusgas end  $\text{CO}_2$ .

### Permafrost

Den del af jordlaget og sedimenter som ikke tør hvert år kaldes for permafrost. I arktiske egne med kontinuerlig permafrost kan tykkelsen af permafrostlaget være flere hundrede meter. Permafrosten indeholder store mængder af organisk materiale, idet puljen er bygget op gennem flere tusinde år. Grunden til dette er,





**Figur 2** Målinger med klimakammer over vegetationen, hvorved man bl.a. kan måle CO<sub>2</sub>-balancen mellem jord og atmosfære.  
Foto: © Svend Erik Nielsen, 2010.

at den biomasse der er dannet igennem vækstsæsonen, det være sig som grene og blade, kun i ringe grad nedbrydes af mikroorganismer pga. de lave temperaturer. Dermed kommer jorde med permafrost til at spille en vigtig funktion, som dræn for CO<sub>2</sub>.

### **Plantedækket**

Plantedækkets vækst og udbredelsen er i høj grad betinget af sne-dækket og temperaturen. Klimaændringer har således stor indflydelse på plantedækket og dets samspil med resten af de arktiske økosystemer og det globale miljø. Undersøgelser fra forskningsstationen i Zackenberg i Nordøstgrønland har vist, at plantesamfundenes fordeling og planternes blomstring og frøsætning styres primært af snesmeltningen det foregående år. Jordbundens indhold af vand og næringsstoffer og snedækkets tykkelse og varighed er afgørende for planternes vækst og formering.

Undersøgelser af planternes fænologi (tidspunkt for blomstring og frøsætning) har vist at vækstsæsonens start er alfa og omega for planternes livsforløb det givne år. Selv ganske få dages tidligere start på vækstsæsonen betyder enormt for planternes fænologi. Danske forskere har vist at for hver grad kloden opvarmes, rykker tidspunktet for hvornår træer og planter grønnes og blomstrer ca.

5-6 dage. Den tidligere blomstring har stor indflydelse på planternes vandhusholdning, bestøvning og på planters og dyrs interaktion. Det imponerende er imidlertid også, at mange arter justerer deres fænologi i forhold til ændringer i klimaet. I perioden 1996-2005, hvor der skete en gradvis opvarmning af foråret ved Zackenberg, reagerede en række plantearter som f.eks. rypelyng og arktisk pil ved at blomstre op til 2-3 uger tidligere. Se figur 2.

Denne iboende plasticitet i planternes fænologiske respons på klimaets variation, er en evne som er opstået gennem tilpasning til tidligere tiders klimaændringer.

Udover denne fænologiske registrering, så følges planternes ”grønheds-index”. Dette ”grønheds-index” udtrykker planternes frodighed og biomasse gennem vækstsæsonen. NDVI kaldes ”grønheds-indexet”, en forkortelse for Normalized Difference Vegetation Index, (se artikel om planternes digitale fingeraftryk), og er et udtryk for planters biomasse.

Påvirkning af plantedækket som følge af fx græsning fra moskusokser og rensdyr, vil påvirke balancen mellem optagelse og frigivelse af CO<sub>2</sub>, som igen har kolossal betydning for atmosfærens indhold af drivhusgasser.

I Arktis begrænser snedækkets længde og vækstsæsonens længde planternes reproduktion (blomstring, bestøvning) og overlevelse. Men da de fleste planter i Højarktis er flerårige betyder et år uden blomster ikke noget, det sker for dem mange gange gennem deres liv. Klimaet skal nemlig ikke ændre sig meget, før blomstring og frøsætning bliver vanskeliggjort. Formeringen sikres over en

### FORMERING I ARKTISKE EGNE

Hos planter i Arktis finder der mange forskellige måder at formere sig på udover den normale fremmedbestøvning via insekter og vind. For ikke at være afhængige af insekter, udvikler mange planter i Grønland efter selvbestøvning helt normale frø. Andre danner frø uden forudgående befrugtning, eller erstatter blomster og frø med små ynglelegemer, der falder af og derved formerer arten. En ultimativ form for tilpasning er imidlertid at være i stand til både at producere åbne blomster som vi

kender dem og lukkede – såkaldte kleistogame blomster. Denne evne som bl.a. Violer praktiserer, må anses for at være en tilpasning til de meget vekslende vækstbetingelser i Arktis.

Men hvorfor producere lukkede blomster i Grønland?

For det første er lukkede blomster mindre energikrævende at producere end åbne blomster og for det andet kan produktionen af lukkede blomster opfattes som en sikringsmekanisme i

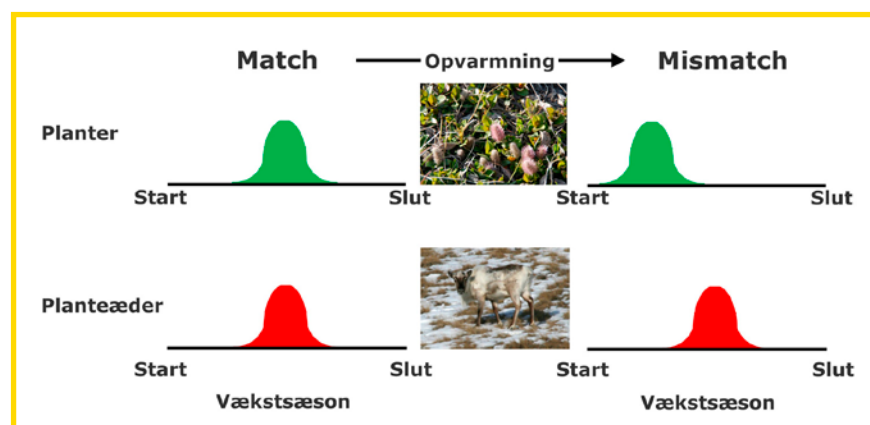
tilfælde af manglende eller mislykket bestøvning i de åbne blomster. En lukket blomst kan ikke forhindres i at producere frø som følge af manglende bestøvning, idet der foregår selvbestøvning i de lukkede blomster. Endelig modvirker mange grønlandske plantearter de lave og meget svingende temperaturer i vækstsæsonen ved at hæve temperaturen i de plantedele, som er særligt vigtige for planternes forplantning: knopper og blomster. (Nielsen, 1991)

længere årrække, hvor der er chance for at gennemløbe en formeringscyklus og dermed sikre frøproduktion og spredning. Endvidere anlægger mange arktiske planter deres blomsterknopper året før blomstringen sker. Det er bl.a. derfor at blomstringen kan starte så hurtigt efter at sneen smelter. Fx viser analyser af blomstringen hos rypelyng, at den kompenserer for sen snesmeltning ved at udvikle blomster meget hurtigere end ellers. At sætningen af knopper bestemmes det foregående år betyder, at planternes blomstring og frøsætning bestemmes af to på hinanden følgende år. Og derfor har tidspunktet for snesmeltning det år knopperne anlægges stor betydning for antallet af blomster året efter, og ikke forholdene det år blomsterne udvikles. Det sker ud fra devisen, jo tidligere snesmeltning, jo flere blomster året efter.

### Et spørgsmål om timing

At det arktiske forår kommer tidligere og tidligere, det er der ikke tvivl om. Det viste Toke T. Høye allerede i 2005. Planterne vågnede af vinterdvalen mere en to uger tidligere end normalt. Rygelyng og arktisk pil startede fx deres vækstsæson to-tre uger tidligere. Senere års kortere vækstsæsoner viste at planterne opbevarer stor fleksibilitet og dermed en iboende plasticitet i deres fænologi. Forskere satte sig for at undersøge, hvad det betyder for planteæderne, at planterne begynder at blomstre to-tre uger tidligere. Mange planteædere som lever i miljøer med store sæsonmæssige variationer, timer fødslen af deres afkom, så den "matcher" med forekomsten af friske skud fra de foretrukne planter. Det er en måde at tilpasse sig på, så ungerne får adgang til mest mulig føde af den bedst mulige kvalitet. Men ikke alle planteædere er i takt med "deres planters" vækst. Rensdyrene har ikke fulgt med ændringen i planternes fænologi. De har ikke været i stand til at ændre timingen af deres kælving, og der er opstået et tidsmæssigt "mismatch" som betyder at når rensdyrene kælver, så er deres foretrukne vegetation ikke længere på toppen rent ernæringsmæssigt. Rensdyrene kommer så at sige ud af takt med vegetationens vækstsæson, fordi der opstår et misforhold mellem det tidspunkt

**Figur 3** Et eksempel på hvorledes klimaændringer kan påvirke dele af økosystemet. Der er i øjeblikket en tidlig sammenhæng mellem hvornår planterne har maksimal produktion og hvornår rensdyr fødes - et såkaldt match. Ved en klimapåvirkning kan de friske skud sættes tidligere og derved er den gode føde ikke tilgængelig for de diegivende rensdyr – et mismatch.



hvor der er næringsrige planter til rådighed og det tidspunkt, hvor rensdyrene kælver og har hårdt brug for næring. Dette "mismatch" har allerede vist sig at have konsekvenser for rensdyrene, eftersom der er blevet færre kalve i takt med at foråret er rykket frem. Umiddelbart kunne det se ud som om at rensdyrene er taberne i forbindelse med de herskende klimaændringer. Se figur 3.

## Planter og drivhusgasser

Permafrostens jorde i Arktis er depot for meget store mængder kulstof, dels som dødt organisk plante-materiale, dels som  $\text{CO}_2$ . Derfor er balancen mellem frigivelse og optag af  $\text{CO}_2$  en meget væsentlig faktor for atmosfærens indhold af drivhusgasser. Denne balance er direkte afhængig af vegetationstypen. Planterne optager kuldioxid fra atmosfæren via fotosyntese og økosystemer frigiver igen kuldioxid gennem planternes og jordens respiration. En variation hen over året ses tydeligt, således at der om sommeren er et større optag af  $\text{CO}_2$  end den mængde der frigives. Selvom balancen mellem optag og frigivelse er direkte afhængig af fotosyntese og respiration, som følge af udviklingen af plantedækket, så påvirker andre dele af de arktiske økosystemer også dette forhold. Forskellige planteædere, som lemminger, gæs, ryer og moskusokser påvirker ikke kun planterne fysisk ved græsning, men også balancen mellem optag og frigivelser af drivhusgasser. Undersøgelser fra Svalbard har påvist, at græssende gæs i løbet af kort tid kan ændre et mosrigt kær fra at være  $\text{CO}_2$ -optagende, til at blive  $\text{CO}_2$ -frigivende. Dette skyldes primært at vegetationen som skulle optage  $\text{CO}_2$  ved fotosyntesen græsses væk..

Normalt betyder sommerens lange dage med midnatssol, at fotosyntesen og dermed produktionen er meget høj. Altså virker tundraen på dette tidspunkt som  $\text{CO}_2$  dræn.

## Frigivelse af drivhusgasser fra den kolde tundra

Nye forskningsresultater fra forskningsstation Zackenberg viser, at der om vinteren siver store mængder af drivhusgas ud fra den frosne arktiske tundra. Området er et af de koldeste i Arktis og det er derfor opsigtsvækkende, at der i oktober måned siver betydelige mængder drivhusgasser fra tundraen op i atmosfæren, selvom tundraen på dette tidspunkt er ved at "gå i den store fryser".

Det har længe været kendt, at der fra tørvemoser og tundra områder i Arktis sammen med permafrostens smeltning i den korte hektiske sommerperiode sker store udslip af drivhusgasser. Men at der også i vinterperioden sker et stort udslip af fx metan, er nyt og indtil for nylig lidt af en gåde for forskerne. De opsigtsvækkende resultater fra Zackenberg vidner om et hidtil ukendt kapitel i permafrostens historie. I en artikel i tidsskriftet Nature No 456 xiii 4.dec 2008, skriver professor Torben Røjle Christensen at der i løbet af oktober måned slipper lige så store mængder metan

Figur 4 Når jordskorpen fryser er der normalt lukket for op-sivningen af metan ( $\text{CH}_4$ ), men netop fryseudvidelsen af de øvre jordlag bevirker, at metan presses ud gennem de hule stænger i vegetationen – specielt kæruld er et eksempel på en skorsten der driver metan ud af jorden.



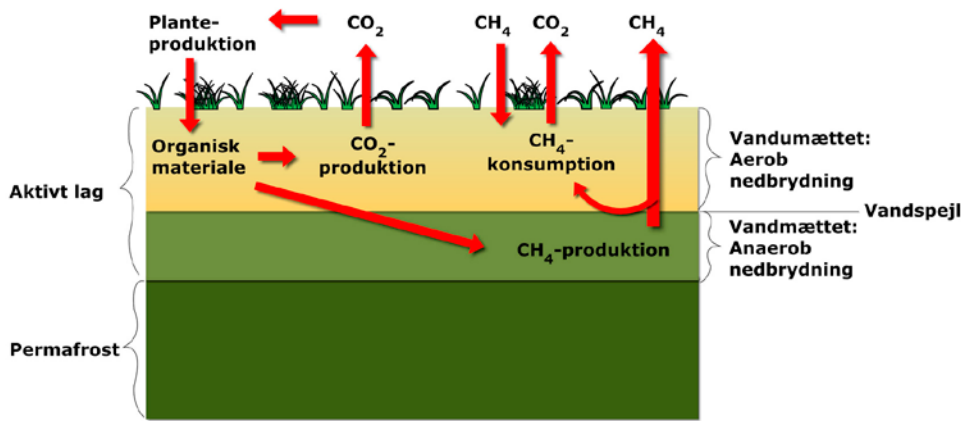
ud af tørvemoserne i tundraen, som i hele sommerperioden. Som følge af de lave temperaturer burde de enzymatiske processer som foregår i mikroorganismene i jorden køre på lavt blus. Derfor er resultatet uventet for klimaforskerne. Forskerne konkluderer, at der årligt udledes mellem 8 og 10 millioner tons metangas fra de højarktiske områder i Grønland, Alaska, Canada og Sibirien. Dobbelte så meget som hidtil antaget.

Metan ( $\text{CH}_4$ ) er en drivhusgas som er omkring 23 gange mere potent end  $\text{CO}_2$ . Undersøgelserne af økosystemerne ved Zackenberg viser, at der bliver trykket masser af metan ud af jorden, når vinteren sætter ind.

Hidtil har man regnet med at frigivelse af drivhusgasser kørte på et meget lavt blus hen over vinteren, men dette er altså en sandhed med modifikationer. Kulden bevirker altså ikke totalt ophør af de biologiske processers aktivitet. Det ser ud til, at metan presses ud af tundraen om vinteren. Det sker antageligt gennem planten kæruld, som står tilbage fra den netop afsluttede vækstsæson. Disse planter fungerer som "skorstene" for udslip af metangas. Det er kæruldens hule stængler som muliggør denne frigivelse af metan i den tidligste vinter. Endnu har man imidlertid ikke hele forklaringer på denne kraftige metanbøvs, men måske kan forklaringen ligge i, at den over sommeren producerede metan kun kan slippe ud opad, da den underliggende jord er permanent frosset.



**Figur 5** Billede af permafrost i jord. Sommeren er så kort at varmen ikke når at trænge dybt ned i jorden, da topjorden virker isolerende for varmen. Derved vil dele af jorden være permanent frosne. Foto: © Svend Erik Nielsen, 2010.



Figur 6 Et eksempel på jordens kulstofbalance. CH<sub>4</sub> produceres i de anaerobe vandmættede lag og konsumeres i det vandumættede lag. Produktionen af CH<sub>4</sub> i det vandmættede lag er dog større end konsumtionen i det vandumættede lag, hvorved dele af CH<sub>4</sub>-produktionen når atmosfæren og indgår som drivhusgas. Efterhånden som der bliver en opvarmning bliver permafrostlaget tyndere hvorved især den vandmættede zone bliver større og dermed bliver CH<sub>4</sub>-produktionen større.

## Produktion og optag af metan og CO<sub>2</sub> i tundrajord

Tundrajord kan opdeles i et aktivt lag, hvor der sker en omdannelse af organisk materiale og den egentlige permafrost, hvor der ikke sker nogen omdannelse, fordi temperaturen året rundt er lav. I det følgende vil vi se bort fra selve permafrostlaget, idet der ikke sker en mikrobiel omdannelse. Som det fremgår af det følgende opdeles det aktive lag i en tør- og en vandmættet (våd) jordzone.

### Tør tundra

Den tørre tundra er karakteriseret ved at tilgængeligheden af ilt er stor og derved sker der en aerob nedbrydning af det organiske plantemateriale i jorden. Ved denne nedbrydning sker der en produktion af CO<sub>2</sub> som frigives til atmosfæren.

### Våd tundra

I modsætning til den tørre tundra, så bevirker de vandmættede våde tundraer, dels at ilt kun langsomt trænger ned og dels at det tager længere tid at varme jorden op. Det betyder alt i alt, at omsætningen af det organiske materiale går langsommere, og at en væsentlig del af omsætningen foregår uden ilt, altså anaerobt. Det betyder at metan (CH<sub>4</sub>) bliver produceret ved såkaldte metanogene bakteriers nedbrydning af organisk materiale under anaerobe (iltfrie) forhold i konstant vandmættede jordprofiler. I jorden kan CH<sub>4</sub> omdannes af bakterier til CO<sub>2</sub>, men har CH<sub>4</sub> først forladt jordmiljøet, så sker nedbrydningen kun langsomt.

### Øget kulstofomsætning

For at vurdere, hvordan en fremtidig større optøning af permafrostlag vil påvirke omsætningen af CO<sub>2</sub> i jordmiljøet, har forskere indsamlet borekerner forskellige steder i tundraen ved Zackenberg. Man har så løbende målt frigivelsen af CO<sub>2</sub> fra borekernerne. Disse målinger viser, at når permafrostkernerne tør frigiver de CO<sub>2</sub> på samme niveau som det aktive jordlag. Det tyder altså

## KVÆLSTOF OG LATTEGAS

Produktionen af lattergas knytter sig primært til den mikrobielle nedbrydning af kvælstofforbindelser, fx ammonium i jordmiljøet. Ved nitrifikation omdannes  $\text{NH}_4^+$  til  $\text{NO}_3^-$ . Omdannelse af nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ved denitrifikation foregår i naturlige økosystemer, hvor ilt er fraværende. I disse iltfrie miljøer anvender mikroorganismerne nitrat som iltningemiddel. Denitrifikationen består af en række processer, hvor forskellige mikroorganismer omsætter nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) til frit kvælstof ( $\text{N}_2$ ). Lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) er et mellemprodukt:  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} + \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$

på, at dele af permafrostlagene kan frigive store mængder af kulstof under optøning.

Men også i våde tundraområder kan kulstof være ophobet og frigives i det øjeblik at forholdene i omgivelserne er de rette. Ved at måle  $\text{CO}_2$  frigivelsen fra jordprøver i laboratoriet, som funktion af temperatur og vandindhold, har forskerne fået detaljeret kendskab til sammenhængen mellem ændringer i temperatur og vandindhold og produktionen af  $\text{CO}_2$ . Ved at tage udgangspunkt i konkrete klimaforudsigelser, er det herefter muligt at forudsige hvor hurtigt puljen af organisk stof vil blive omsat og dermed hvor meget  $\text{CO}_2$  der vil blive frigivet.

### Permafrosten frigiver lattergas

Som om det ikke skulle være nok at tundraens permafrostlag frigiver  $\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$ , så viser nye forskningsresultater fra Zackenberg i Nordøstgrønland, for første gang, at permafrost kan give anledning til en stor produktion og potentiel frigivelse af lattergas. En forskergruppe under ledelse af Bo Elberling, professor i miljøgeokemi, Københavns Universitet, har vist at den øverste del af permafrostlaget indeholder store mængder ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Denne kvælstofpulje som permafrostlaget gemmer på, kan ved optøning omsættes meget hurtigt til lattergas, fordi mikroorganismerne er til stede. Det er øjensynlig variationen i vandindhold og tø-frys situationen, der betinger den store produktion af lattergas. Denne potentielle frigivelse af lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) bidrager til nedbrydning af ozonlaget, og virker som en drivhusgas der er 300 gange mere kraftig end  $\text{CO}_2$ .

Denitrifikation er formodentlig den dominerende proces i produktionen af lattergas, når permafrostlaget først drænes og derefter mættes med vand. Men hvor stor er den reelle frigivelse af lattergas fra det tøende permafrostlag? Det satte Bo Elberling og Jørgen Hollesen, Københavns Universitet sig for at undersøge eksperimentelt. Det de satte sig for at undersøge var, hvad der sker når permafrostlaget først tør og drænes (så  $\text{NH}_4^+$  kan omsættes til  $\text{NO}_3^-$ ) og derefter vandmættes igen med dræningsvandet. Situationen er realistisk, fordi jordlagene drænes hver sommer og vandmættes igen med smeltevand fra ovenliggende områder. "Undersøgelser viser, at når en permafrostprøve tør, så produceres der i størrelsesorden 0,8  $\mu\text{g}$  lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) i timen per kilo jord. Men når kernen i stedet for drænes og efter en uge vandmættes igen, så stiger den samlede frigivelse af  $\text{N}_2\text{O}$  fra permafrostkernen med faktor 20. Det bringer frigivelsen af  $\text{N}_2\text{O}$  op i samme størrelsesorden, som er målt i mange ikke arktiske landbrugsjorder og er markant højere end tidligere målt i arktiske områder." (Elberling og Hollesen, 2010).

## Konklusion og perspektivering

Både på den korte og den lange bane er frigivelse af drivhusgasserne CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> en central faktor i klimadebatten. De årlige klimavariationer er vigtige med- eller modspillere i forhold til om der sker et optag eller en frigivelse af disse drivhusgasser. Det store spørgsmål er imidlertid, om balancen mellem optagelse og frigivelse af kuldioxid og metan er ved at rykke sig, således at den samlede årlige frigivelse fra polernes tundraområder bliver større end den årlige optagelse, som følge af plantedækkets fotosynteseaktivitet. Det er klart, at planternes fotosynteseaktivitet vil stige i og med temperaturen stiger, fordi enzymeres aktivitet vil stige, men respirationsenzymers aktivitet vil også stige, og derfor er det store spørgsmål således, om balancen mellem frigivelse og optagelse af CO<sub>2</sub> vil forrykke sig i den ene eller anden retning.

Problematikken er, om det fremtidige klima bliver varmt og vådt eller om det bliver varmt og tørt, da frigivelse af drivhusgasser fra våde jorde er betydelig større end fra tørre jorde. Forskere ved Biologisk Institut ved Københavns Universitet har ved målinger i Nordsverige illustreret, at emissionen af reaktive gasser fra planter og jord er dobbelt så stor, hvis temperaturen bare øges med to grader.

## Videre læsning:

Born, E. W. et al.: *Grønlands Økologi*. Atuakkiorfik Undervisning, Nuuk, 1999.

Christensen, T. R.: Sumpgas, tundra og klima. *Naturens Verden* 2/1996

Elberling, Bo: Permafrost og lattergas. *Aktuel Naturvidenskab* 2/2010.

Elberling, Bo: Jordbund og klima på Grønland. *Geografisk Orientering* 4/2005.

Elberling, Bo og Jørgen Hollesen: *Geografisk Orientering* Særnummer – august 2010.

Forchhammer, M.C. et al.: *Naturen og klimænderingerne i Nordøstgrønland*, DMU, Århus Universitet, 2009.

Forchhammer, M.C. et al.: Arktisk økologi under klimænderinger, *Aktuel naturvidenskab* 2/2011.

Jonasson et al.: Livsprocesser i Arktis – vilkår under forandring? *Naturens Verden* 10/1996

Nielsen, S.E og F. Ulbæk: Krydsbestøvning og selvbestøvning hos Dalviol i Vestgrønland. *Naturens Verden* 10/1991.

Tema-rapport fra DMU: Sne, is og 35 graders kulde. *DMU temarapport* 41/2002.

[WWW.berlingske.dk/klima7sumpgasser-siver-ud-af-den-kolde-tundra](http://WWW.berlingske.dk/klima7sumpgasser-siver-ud-af-den-kolde-tundra).



# Miljøforurening i Arktis

Af Svend Erik Nielsen



Figur 1 Hvalrosser.

Foto: © Svend Erik Nielsen, 2010.

Forurening og skibstrafik påvirker mange af havdyrene i Arktis. I områder, hvor der foregår stærk skibs- eller bådtrafik kan fx hvalrosser blive påvirket af skruestøj, således at deres kommunikation under vandet forstyrres. Sker dette i parringssæsonen, vil den livsvigtige kommunikation som foregår mellem hanner og hunner gå tabt og bestande kan komme i fare.

Men ikke kun støj i havet påvirker hvalrosserne. Støj fra fly kan på afstande op til 1-2 km skræmme hvalrosser som ligger på is eller land, som det fx sker i den grønlandske nationalpark og rundt Svalbard, hvor hvalrosser har faste liggepladser.

Forurening med miljøgifte som tungmetaller, DDT og olie, kan have indflydelse på dyrene i havet omkring Arktis, fx hvis der sker et olieudslip ved en muslingebanke hvor olien kommer til at dække havbunden. Herved forringes hvalrossernes mulighed for at finde muslingerne med sit følsomme skæg. Men den største trussel for de fleste havdyr er formodentlig fiskeri og jagt. Dette gælder også for hvalrossen. For modsat isbjørnen, vil hvalrossen nok kunne drive fordel af de pågående klimaændringer, i og med at der bliver mindre havis og dermed bedre muligheder for at finde muslinger som er hvalrossens hovedføde.

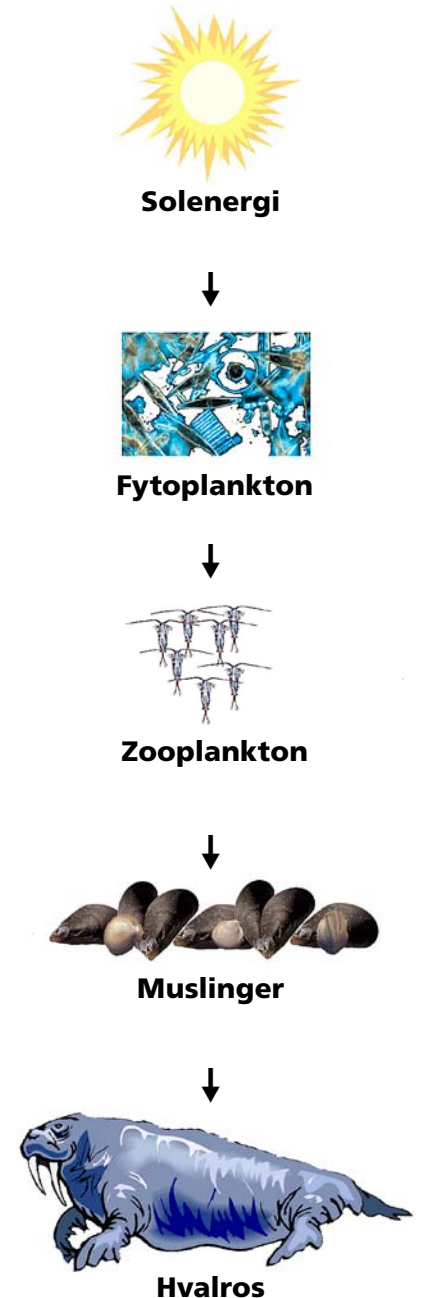
De mange miljøgifte som kan spores i Arktis kan inddeles i tre hovedgrupper: Tungmetaller, olie og POP'er. POP er en forkortelse for "Persistent Organic Pollutant", og dækker en bred vifte af organisk forurenende stoffer som DDT, PCB, dioxiner og kunstige østrogen. Forurening med tungmetaller og POP'er er kommet til Arktis med henholdsvis hav- og luftstrømme fra Rusland, USA og Europa. Stofferne påvirker de arktiske dyr forskelligt eftersom de lever af forskellige fødeemner, og dermed er placeret forskellige steder i de arktiske fødekæder, (se figur 2).

Det der er fælles for tungmetaller og POP'er er, at de koncentrerer igennem fødekæden og nedbrydes meget langsomt. Stofferne opløses i fedt og oplagres efterhånden i dyrenes fedtvæv, således at de kommer til at indeholde mere og mere af giftstoffet, man siger at der sker en bioakkumulation. Sker denne opkoncentrering af fx tungmetaller gennem fødekæden kalder man det for biomagnifikation, hvilket bevirker at topkonsumenterne indeholder de største koncentrationer af stoffet. (Se figur 2).

Hvorfor rammes hvalros og isbjørn ikke lige meget af forurening med fx DDT og PCB? Disse stoffer findes især i fedt og begge dyr har store fedtdepoter. Forskellen skal imidlertid søges i deres vidt forskellige "menu kort". Hvalrossen lever primært af muslinger og disse har ikke et særlig stort indhold af fedt. Herved bliver hvalrossen kun lidt forurennet med disse stoffer, modsat isbjørnen der som topkonsument spiser store mængder af sælspæk, hvori netop PCB og DDT ophobes.

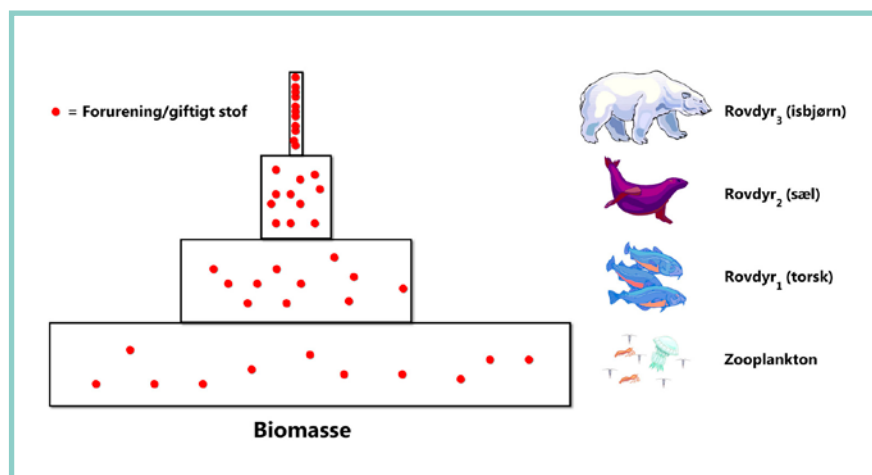
Men der er flere forklaringer på at isbjørne i særlig grad er påvirket af miljøgifte. For det første er isbjørnen placeret som topkonsument allerøverst i fødekæden (se figur 3). Desuden har isbjørnen forsinket implantation, så det befrugtede æg ligger i en slags dvaletilstand, inden fosteret begynder at udvikle sig. Derved kan miljøgiftene påvirke dyret gennem længere tid. Isbjørnen går gennem flere fasteperioder gennem sit livsforløb, hvilket betyder at den tærer på sine fedtdepoter. Derved kommer de ophobede POP'er ud i blodet og rundt til de vitale organer i fasteperioderne.

Det faktum at isbjørnen er det største rovdyr i de arktiske egne er desværre også ensbetydende med, at bjørnene i Østgrønland er



Figur 2 Et eksempel på en fødekæde, hvor hvalros indgår.

**Figur 3** Pyramide der viser at biomassen falder med stigende trofisk niveau, medens mængden af giftige stoffer (POP'er) ikke ændres. Derved sker der en koncentrationsophobning i toprovdyrene. Jo højere rovdyrskategori des højere koncentration af POP, og da rovdyrskæder i hav er længere end på land og da isbjørnen er et landpattedyr, der lever af havrovdyr er koncentrationen ekstra høj i isbjørn.



blandt de mest forurenede og dermed giftige. Problemet er at der gennem fødekæden sker en akkumulering af miljøgifte og da bjørnene er endestation for disse giftstoffer, kan man finde store koncentrationer af PCB, DDT, kviksølv og cadmium i deres fedt. I marine arktiske fødekæder er energien lagret som fedt og da miljøgifte er fedtopløselige sker der en kraftig akkumulering. Konsekvenserne for de forurenede bjørne kan være; misdannede kønsorganer og afkom, nedsat immunforsvar og skader på nervesystemet. Undersøgelser fra Svalbard har vist, at bjørne med store koncentrationer af PCB, responderer i mindre grad på indsprøjet virus. De danner færre antistoffer.

### Kviksølv

Flere kviksølvforbindelser optages meget effektivt i pattedyr. Fx optages og ophobes methylkviksølv særligt godt i nyrer, lever og centralnervesystemet. Kviksølv har en potent giftighed, da kviksølvforbindelserne i dyr og mennesker næsten udelukkende er bundet til proteiner og lipider, og altså kun svært udskilles. Kviksølvs giftvirkning beror på to mekanismer. For det første binder kviksølv sig effektivt til de svovlholdige aminosyrer. Disse aminosyrers -SH grupper deltager i vigtige processer i kroppen. Når kviksølv bindes til disse -SH grupper i et enzym, så virker enzymet ikke. Kviksølvs giftighed beror altså på metallets evne til at binde og inaktivere enzymer.

Kviksølv har yderligere den egenskab, at kunne reagere med cellernes DNA molekyler og derved skabe mutationer.

### Cadmium

Koncentrationen af de fleste miljøgifte er højere i dyr fra sydlige himmelstrøg end i dyr fra Arktis. Fx er koncentrationen af PCB i ringsæler fra Østersøen 30-600 gange højere end i ringsæler fra Østgrønland. Indholdet af cadmium i miljøet følger ikke denne regel. Ringsæler fra Grønland har nemlig vist sig at indeholde op til

## HVALROSSENS SPECIELLE MENU

Hvalrossen er speciel på to måder, dels fordi den næsten udelukkende lever af hvirvelløse dyr fra havbunden, dels fordi den har en særlig måde at skaffe sig føde på. "Hvalrosserne tager mange forskellige dyr fra havbunden: Søpølser, rejer, børsteorme, snegle, søpindsvin, søanemoner, blæksprutter, tobis, polartorsk og meget mere. De foretrækker dog først og fremmest nogle få musling arter, hvoraf tre er favoritter: Stump sandmusling (*Mya*), hulemusling (*Hiatella*) og glat hjertemusling (*Serripes*)". (Born, 2005) Men hvordan finder hvalrosserne muslingerne som sidder nedgravet i

havbunden, som består af sand og mudder? "Hvalrossen bevæger sig nærmest vandret hen over havbunden, og stødtænderne glider som skinner hen ad bunden" (Born 2005). Havbundens sedimenter hvirvles op, hvorved sigtbarheden bliver dårlig, derfor må hvalrossen bruge følesansen til at finde muslingerne. Hvalrosskæggets stive børster fungerer som veludviklede føleorganer med rig tilførsel af blod og nerver. Hvalrossen laver en kraftig vandstråle for at rense området for sand og mudder, hvorved muslingen kan lokaliseres. Muslingen tages i munden og dens indhold suges ud.

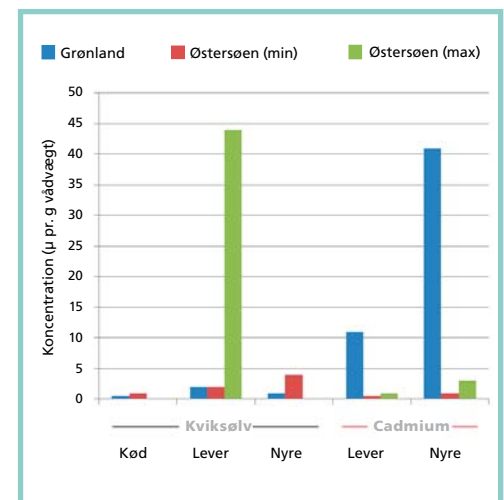
"Hvalrosser æder utroligt effektivt. I Østgrønland har observationer under vandet vist, at de i løbet af et enkelt dyk på ca. 6 minutter i gennemsnit når at æde omkring 53 muslinger – det svarer til 8-9 muslinger i minuttet" (Born, 2005). At hvalrosser har et stort fødebehov og energiforbrug for at opretholde stofskiftet har et eksperiment med isotop mærket vand vist. "En 1.000 kg tung hvalross havde brug for lidt over 70 kg føde om dagen" (Born, 2005). Det svarer til at hvalrossen skal opsøge og æde omkring 5.000-6.000 muslinger i døgnet.

100 gange så meget cadmium som ringsæler fra Østersøen. Årsagen skal formodentlig findes i, at dyrene i Arktis vokser langsommere og dermed akkumulerer cadmium gennem længere tid. (Se figur 4). Dertil skal lægges, at krebsdyr spiller en langt større rolle som føde for havpattedyrene i de arktiske områder. Og da disse krebsdyr har vist sig at indeholde langt mere cadmium end fisk giver dette god mening.

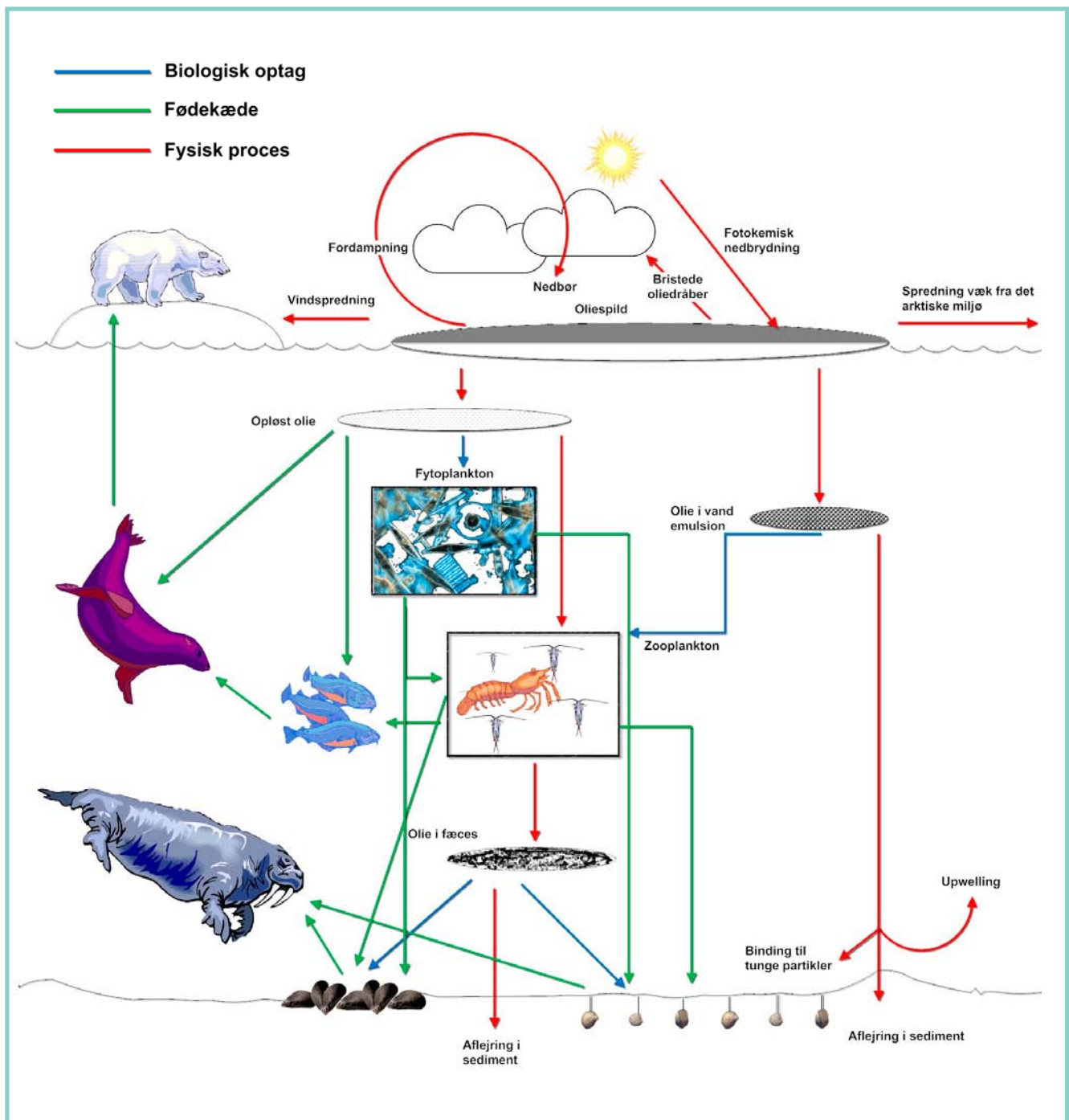
Cadmiums giftighed beror på, at det binder sig til proteinet metallothionein i lever og nyrer. Metallothionein indeholder mange frie -SH grupper og cadmium danner stærke bindinger til disse frie -SH grupper. Herved inaktiveres metallothionein og konsekvenserne bliver ved længere tids eksponering, udskillelse af protein i urinen og nedsat fosfat regulering med bl.a. knogleskørhed til følge.

## Olieforurening

De arktiske egne er sårbare over for olieforurening. De uheldige effekter af et olieudslip afhænger af en række abiotiske faktorer, såsom vind, strøm, lys og temperatur, samt af mikroorganismernes nedbrydende aktivitet. Olie består af en række forskellige kulstof-forbindelser, hvoraf nogle af disse vil normalt fordampe hurtigt. Men da temperaturen er lav i Arktis vil mange af bakteriernes nedbrydningsprocesser gå langsommere. Isens tilstedeværelse nedsætter samtidig oliens fordampning. Både isalger, zooplankton og fiskeyngel tager skade af oliens forskellige indholdsstoffer, fx



Figur 4 Koncentrationen af hhv. kviksølv og cadmium i forskellige dele af Ringsæl i hhv. Østersøen og i farvandet omkring Grønland.



Figur 5 Olieforureningens spredningsveje i Arktis.

benzen og tuloen. Mange dyregrupper græsser på planktonalger ved hjælp af særligt udviklede filtrationsmekanismer. Blandt de vigtigste repræsentanter for disse dyregrupper er vandlopperne (copepoderne), som optræder i kolossale mængder i de frie vandmasser i havet, hvor de er det økologiske systems hovedtransportører af organisk stof. Olien, som bølgerne emulgerer, har samme størrelse som planteplankton. Disse oliepartikler filtreres af vandlopperne og kommer derved ind i de marine fødekæder som andet organisk stof.

Fisk, fiskeæg og larver der optager olien, får en række fysiologiske og vævsmæssige skader. Fx optræder skader på nervesystemet med adfærdsforandringer til følge, ligesom skader på DNA (mutationer) og kræft ses.

En anden effekt af olieforurening på havet er, at olien spærrer for sollyset og dermed hæmmer planter og ftoplanktons fotosyntese. På den måde påvirkes produktionen i det berørte område.

Ved olieudslip er det specielt fugle som er udsat, fordi olien trænger ind i deres fjerdragt og ødelægger isoleringsevnen, så fuglene enten dør af kulde eller ved drukning. Men også havpattedyr som sæler og isbjørne er særligt sårbare over for olieforurening, dels fordi pelsens isoleringsevne nedsættes, men også fordi indånding og indtagelse af olien fremkalder hjerneskader.

Olieforureningens spredningsveje og effekter i havet fremgår af figur 5.

I de senere år er der sket en kraftig udvidelse af olieeftersforskning og olieudvindingen i havbunden, og man har med nogen bekymring imødeset risikoen for forurening herfra. Det kan ske enten i form af ”blow outs”, hvor man mister kontrollen over olieilden, eller i form af det stadige udslip af små mængder olie ved daglig produktion. I områderne tættest på boreplatformene i Nordsøen er koncentrationen af olie i havbunden forøget og antallet af bunddyr arter, er formindsket (Bjerregaard, 1995).

### Har hvalrossen en fremtid?

Det må tiden vise, på den ene side bliver mulighederne for at komme til spisekammeret på havets bund bedre når havisen forsvinder, ligesom de arktiske økosystemers primærproduktion formodentlig vil stige under de pågående klimaændringer. På den anden side vil havisens forsvinden betyde en større skibstrafik i de arktiske farvande fx med olietankere og krydstogtskibe. Derved kan den vigtige undervandskommunikation mellem dyrene forstyrres. Sker det i parringssæsonen kan det få katastrofale konsekvenser.

### Videre læsning:

ACIA: *Arctic Climate Impact Assessment, Impacts of a warming Arctic*, Cambridge University Press, 2004.

Bjerregaard, P.: *Basisbog i Økotoxikologi*, GAD, 1995.

Born, E. W.: *Grønlands hvalrosser*. Ilinniusiorfik Undervisningsforlag, Nuuk, 2005.

Born, E. W. & Böcher, J. (red.): *Grønlands økologi*, Atuakkiorfik, Nuuk, 1999.

### OLIEFTERSFORSKNING I GRØNLAND

Hvem husker ikke oliekatastrofen i den Mexicanske Golf, hvor BP-platformen ”Deepwater Horizon” eksploderede i april 2010? ”Dengang lovede det grønlandske selvstyre, at borerne ved Grønland i modsætning til BP’s i golfen, kun ville foregå på lavt vand. Men nu har selvstyret givet tilladelse til, at olieselskabet Cairn kan bore på dybt vand; mere end 650 meter”. (Politiken, d. 21.maj 2011). Ved at bore på større dybde bliver situationer med ”blow outs” væsentligt mere krævende at stoppe rent teknisk, og kan man i yderste konsekvens ikke stoppe et ”blow out”, kan følgerne for det sårbare arktiske miljø blive uoverskuelige, især fordi olien som allerede nævnt nedbrydes langsommere.

# Planternes digitale fingeraftryk

Af Jesper Ruggaard Mebus

Idet man ikke længere er i tvivl om, at den globale temperatur er på vej op, rejser det spørgsmålet, om hvilke effekter denne temperaturstigning har på de organismer der findes i Arktis, og hvordan denne effekt kan måles? Man bliver nødt til at vælge at måle på parametre, som man mener, vil ændre sig i forbindelse med et varmere klima. Samtidigt er det klart, at der skal måles over længere tid for at se nogle af de kommende effekter af et varmere klima. Da der er en naturlig årlig variation i temperaturen vil ekstra varme og ekstra kolde år forstyrre målingerne, og man vil ikke kunne se en klar tendens, der kan siges at være gældende. For at overkomme dette arbejder man normalt med lange tidsserier, som kan korrigeres for enkelte udsving. Det er derfor et problem, at man ikke har gamle tidsserier fra Grønland/Arktis. Dette skyldes dels, at man først for nylig er blevet politisk opmærksom på problemet, og derfor først nu har bevilliget penge til den slags undersøgelser. Dels skyldes det også de transportmæssige og udstyrsmæssige vanskeligheder der er forbundet med at måle i øde egne af Grønland.

Som forsker er man derfor nødt til at arbejde hypotetisk deduktivt. Man må opstille hypoteser som man mener, er værd at undersøge, og som man mener, kan give et svar på om klimaforandringer har biologiske konsekvenser. Det kan eksempelvis være om plantedækket eller dyrelivet ændrer sig. Man kan opstille hypoteser der indeholder disse forudsætninger, og man vælger derfor at undersøge de arter der er i det område, man vil undersøge. Arterne behøver ikke være til stede hele tiden, men kan godt være arter der bruger Grønland som fourageringsområde, fx trækfugle. Helt simpelt kan hypoteser opstilles som spørgsmål, og ved at besvare disse spørgsmål kan man finde ud af om klimaforandringerne har biologiske konsekvenser. Nogle spørgsmål kunne være:

1. Vil der ske en ændring arts sammensætningen i plantesamfundene?
2. Vil Dværgepil ændre blomstringstid?
3. Vil der være ændringer i trækfuglenes ankomst og afgang fra en speciel lokalitet?

4. Vil der blive flere moskusokser i forbindelse med en længere vækstsæson for planterne, hvorved moskusokserne vil kunne få mere føde?
5. Vil antallet af polarræve opleve en stigning i forbindelse med, at antallet af lemminger stiger, som funktion af en længere vækstsæson?

Problemet med disse spørgsmål er at resultatet af et positivt svar på et af spørgsmålene kan påvirke alle andre spørgsmål på en kompliceret måde, hvor økologiske spørgsmål i sagens natur netop indeholder mange data og derfor også mange usikkerheder. Se figur 1. Planter, planteædere og rovdyr vil være påvirket af hinanden. Hvis forholdene bliver bedre for planterne vil der komme flere planteædere og så vil man ikke kunne måle et større plantedække, men hvis rovdyrene også får mere føde og dermed fjerner en del af planteæderne vil der være et større plantedække, få planteædere og en del rovdyr. Denne dynamik kan svinge fra år til år og kræver meget store datamængder for at kunne analyseres statistisk.

## Dyrelivet

Hvis man ser på faunaen er der mange forskellige simple målinger man kan tage fat på, for et se om der sker forandringer man kan tilskrive en temperaturstigning. Mest simpelt er kvalitativt at se på arter og fremstille artslistes, der viser hvilke arter der er til stede i et givent område. Det vil være bedre om man kvantitativt kunne bestemme bestandstørrelser, hvilket bl.a. kan gøres ved fangst-genfangst-metoder, hvor man fanger et vist antal dyr, mærker dem og sætter dem ud igen. Ved en senere genfangst finder man fx 10 % mærkede dyr og man kan derfor skønne at bestanden af den pågældende art er 10 gange større end det antal man fangede ved genfangst. I en klimamæssig sammenhæng vil det være vigtigt at vide om bestanden af nogle dyr gik frem på bekostning af andre. Sådanne målinger kræver netop kvantitative målinger af bestandstørrelser.

Indvandring af arter fra andre egne er ligeledes en trussel for de eksisterende arter i Arktis. Med mindre is og en deraf følgende øget skibstrafik, vil der uvægerligt transporteres dyr fx i ballasttanke fra andre områder til Arktis, hvor de måske vil kunne udkonkurrere de eksisterende arter, som ved en øget opvarmning er udsat for, at de tilpasninger arterne har, ikke længere gør dem velegnede til at overleve i Arktis.

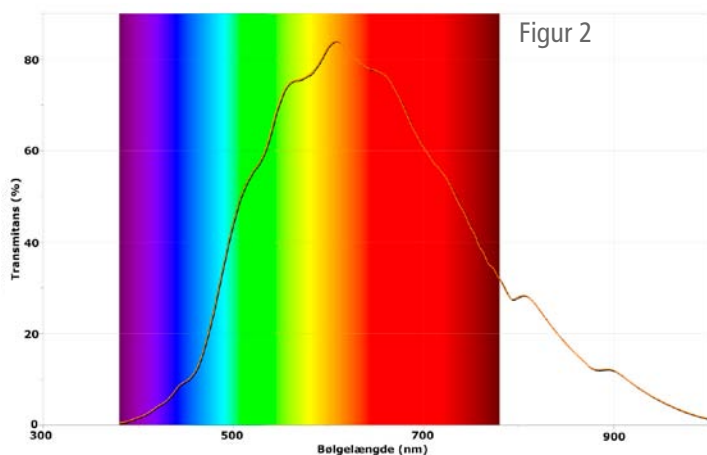
## Plantelivet

Ligeledes er man opmærksom på ændringer i vegetationen. Med et varmere klima med mindre snedække forventes plantebiomassen at stige, men det er ikke sikkert at de nuværende arter kan klare sig. Derfor er også kvalitative undersøgelser af artssammen-

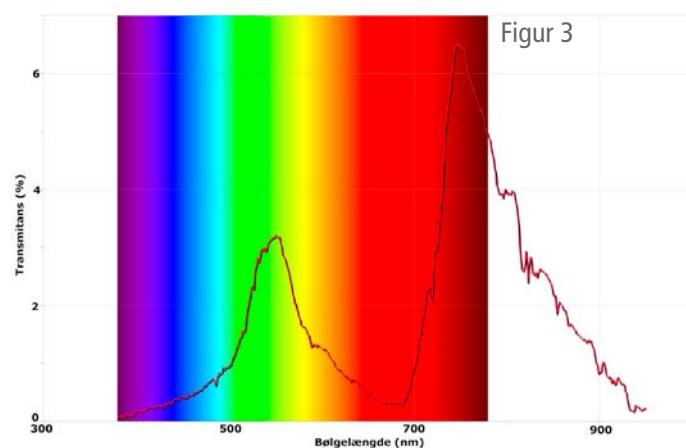


Figur 1 Biologiens paradoks, hvor bredden af trekanten illustrerer henholdsvis den præcision man kan udtale sig med på forskellige niveauer, og hvorledes dette har umiddelbar relevans for samfundet.





**Figur 2** Transmittans fra en snedækket overflade målt med et spektrofotometer (Red Tide 650) med et lyslederkabel tilsluttet. Det ses, at sneen transmitterer lys i alle spekterets farver, svarende til spekteret for det indkomne lys. Sneen opfattes derfor som hvid.



**Figur 3** Plantedækket overflade (karse). Der ses to forskelle: For det første er transmittansen meget lavere (4 %) mod ca. 85 % for den snedækkede overflade. Det ses også, at den farve der kastes tilbage inden for det synlige lys (400-700 nm) er grønt.

**Figur 4** Målinger med Red Tide spektrofotometer og Verniers LabQuest. Foto: © Erik Frausing, 2012.



sætningen vigtig for at få information om ændringer i artssammensætningen. Der kan både være tale om at nye arter invaderer områder, men også ændringer i artsammensætning af hjemmehørende arter i områderne, hvor sjældnere arter kan komme til at dominere på bekostning af de arter der i dag er dominerende. Dette gøres traditionelt med undersøgelser af et transekt (en linje udlagt i naturen som undersøges år efter år for forskellige arter) eller med kast af såkaldte Raunkjær-cirkler som har et areal på 0,1 m<sup>2</sup>. Heri er det muligt at bestemme dækningsgrad af de enkelte arter og dermed få en kvantitativ måling af artssammensætningen.

### Planters digitale signatur

Nye målemetoder er taget i brug, hvor man ud fra en spektral-analyse af det lys der sendes tilbage fra vegetationen kan se hvor "sund" vegetationen er – fx i form af grønne blade og en god dækningsgrad. Man kan sige, at det er en slags avanceret albedomåling, hvor man ikke bare ser på den samlede tilbagestråling fra et givet område, men ser på den spektrale sammensætning af den elektromagnetiske tilbagestråling. Hvide snedækkede områder vil sende lige store dele af lyset tilbage i alle bølgelængder (det er derfor det er hvidt – se figur 2), medens våd jord uden plantedække vil være meget mørk og absorbere i alle bølgelængder – se figur 3. Plantedækkede overflader vil være grønne og derfor absorberes i de blå og røde spektre medens tilbagestrålingen i det grønne spektrum vil være stor. Planter har også en stor udstråling i det nærinfrarøde område ved 730-750 nm, som ikke er synligt for det menneskelige øje. Disse spektrale forskelle kan sige noget om plantedækket et givent sted. Hvorledes det kan måles med feltudstyr til klassebrug kan ses på figur 4.

Oprindeligt er disse metoder brugt til satellitmålinger af vegetation – såkaldt "remote sensing" eller telemåling, hvor plantedække kan kendes ved, at det absorberer i det rødlige spektrum (VIS) og til gengæld udsender stråling i det nærinfrarøde område. Man har således fra NOAA AVHRR satellitten målt i det røde spektrum (670 – 690 nm) og det nærinfrarøde område (NIR) (730-1000 nm) og fået

et såkaldt NDVI-indeks (normalized difference vegetation index) beregnet på følgende måde:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS_{rød}}{NIR + VIS_{rød}}$$

Dette kan give værdier mellem -1 og +1: Områder uden plantedække har en værdi på 0 medens maksimalt plantedække er på omkring 0,8-0,9. Områder der er snedækkede får en værdi på omkring -1. Et spektrum (transmitans i modsætning til et absorptionspektrum, som er det inverse af transmitans) af en vegetationsdækket flade ses på figur 3. Det ses tydeligt at planter udsender meget stråling i det nærinfrarøde område og at planterne udsender meget lidt stråling i den røde del af spektret. Problemet med at undersøge via satellit er den meget dårlige rumlige opløsning (oftest 30 x 30 m), og at dækningen omkring Arktisk er dårlig på grund af jordens krumning.

Disse satellitmålemetoder bruges til at observere regnskovsfældninger i Brasilien, men også fåreavlens indflydelse på plantedækket i Sydgrønland kan måles ved hjælp af satellit. Såkaldte falske farvefotos, hvor man "flytter" den grønne farve, således at den viser det nærinfrarøde område, viser med alt tydelighed, at netop områder med lavt vegetationsdække og dermed lav tilbagestråling i det nærinfrarøde område bliver mindre grønne.

Det indkomne lys' sammensætning har også betydning for det tilbagekastede lys, hvilket man godt kender fra gråvejrsdage, hvor skygger udviskes og nuancer forsvinder i forhold til solskinsdage med meget lys. For at få en bedre rumlig opløsning og for at sikre, at variationer i det indkomne lys ikke har indflydelse på NDVI-målingerne har man derfor opfundet instrumenter, der kan måle NDVI ved en form for ministrygerlignende måleinstrument. Se figur 5. Dette instrument stryges hen over vegetationen og udsender lys som reflekteres af sensorer der sidder på undersiden af instrumentet. Endvidere er instrumentet udstyret med GPS, så man ved hvor man har målt. Når man derfor måler på tilbagekastningen af en kendt lyssammensætning er man uafhængig af vejrforhold når man måler og data kan sammenlignes fra forskellige dage uanset hvor højt solen står på himlen. Et sådant instrument er Crop-circle (figur 5) som bruges til at måle klorofylmængden ved feltstationen "Nuuk Basic" langs den linje man kalder NERO-linjen (Nuuk Ecological Research Operation) - der spilles lidt på et ordspil i forhold til ZERO-linjen (nullinjen, som også er en forkortelse fra Zackenberg Ecological Research Operation) - så er NERO linjen den nye linje. På figurerne 6 og 7 ses tydeligt at NERO-linjen er et transekt der strækker sig fra en nordvendt dalside ned i dalbunden og op ad den sydlige dalside. Derved kan der måles i forhold til forskellige abiotiske faktorer som fx tørre dalsider og våd dalbund. Varm sydvendt skråning (tørkestress) og kølig nordvendt skråning (temperaturstress).



Figur 5 En Crop-circle med sensorhed med lyskilde og GPS til måling af NDVI. Foto: © Katrine Ravndrup.

**Figur 6** NERO-linjen lagt ind på Google Earth. På kortet ses Nuuk som reference. Farvekoderne på kortet henviser til vegetations-type eller landskabsselement.

Sneleje = hvid  
Hede = oliven  
Krat = brun  
Lavmose = blå  
Flodbund = lys blå  
Klippe = grå  
Sø = mørkeblå



### Beregninger

Man kan nu beregne NDVI ved at se på resultaterne fra undersøgelserne med Crop-circle, og for eksemplets skyld er der her vist beregninger af NDVI for de spektre der er vist i figur 2 (sne) og figur 3 (karse). Først findes (med statistikværktøjet i LoggerPro) gennemsnittet i bølgelængderne 670-690 i det røde område og gennemsnittet i bølgelængderne 730-1000 i det nærinfrarøde område, hvilket fremgår af nedenstående tabel:

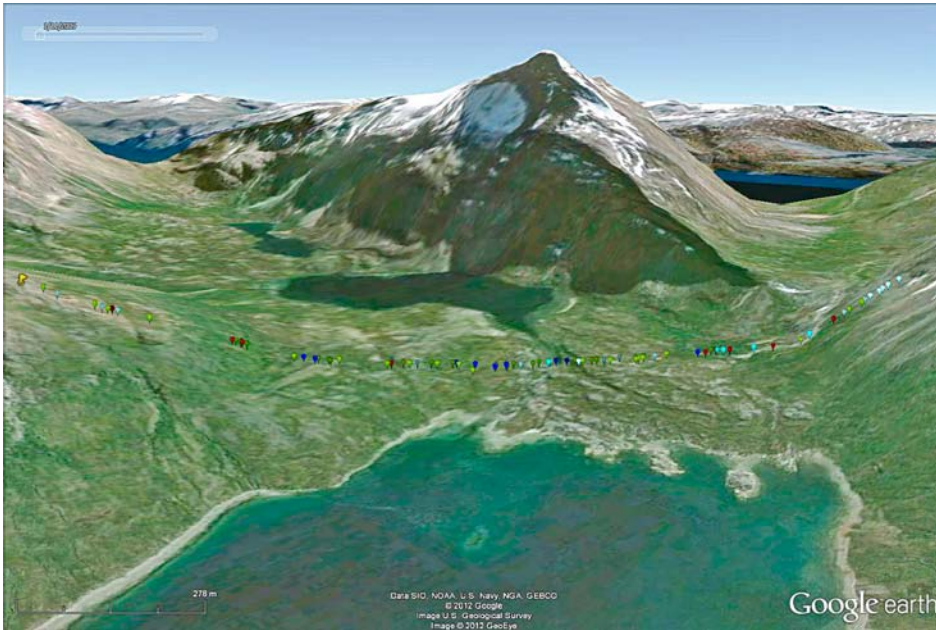
	Rød <sub>(670-690)</sub>	NIR <sub>(730-1000)</sub>
Sne	68,76	18,89
Karse	0,6036	2,001

$$\text{For sne bliver NDVI-værdien: } \frac{18,89 - 68,76}{18,89 + 68,76} = -0,57$$

$$\text{For karse bliver NDVI-værdien: } \frac{2,001 - 0,6036}{2,001 + 0,6036} = 0,54$$

Umiddelbart er det klart, at jo større NIR er i forhold til rød des større bliver NDVI. Det er nemlig klorofyls signatur, at det absorberer rødt og udsender nærinfrarødt lys. Hvis rød er 0 er NDVI 1. Der er mange metoder til at beregne NDVI på. Man kan også tage den maksimale værdi i NIR og den minimale værdi i det røde spektrum, da det egentlig er den forskel der viser, at der er et plantedække. Ved at arbejde i hele området op mod 1000 nm kommer man til at få et noget lavere gennemsnit, da planter ikke transmitterer ved de højeste bølgelængder. Havde man brugt maksimalværdien i det nærinfrarøde område og minimumsværdien i det røde område vil NDVI kunne udregnes til:

$$\frac{4,256 - 0,5728}{4,256 + 0,5728} = 0,76$$



**Figur 7** NERO-linjen lagt ind på Google Earth. Kortet er et konturkort som ses fra Kobbefjorden og ind i landet mod sydøst. Farvekoderne er de samme som i figur 6.

Disse værdier har mere mening når man måler på et vegetationsdækket område og skal se på forskelle i grønne nuancer.

Fordelen ved at anvende denne metode er at man ud over at kunne bestemme dækningsgraden af de forskellige plantearter, også har mulighed for at kunne måle hvor meget klorofyl enkelte planter indeholder og derved kunne sige noget om planternes velbefindende.

Det er klart at forskellige planter udsender forskelligt spektrum. Eksempelvis er der forskel på den relativt mørkebladede art revling og på de mere lyse blåbær. Men også samme art kan have forskelligt spektrum ved forskellige livstadier. Man behøver bare at tænke på en dansk bøgeskov, der lige når den er sprunget ud har en meget lysegrøn farve og senere får en meget mere mørkegrøn farve. Således er der også forskel på kimblade, unge planter og blomstrende planters spektrum, og det skal der tages højde for i målingen og analysen af data fra instrumenter som Crop-circle. Se figur 8.

Mange andre indeks kan måles med spektralanalyse. Det er muligt at foretage nogle af disse målinger i klasseværelset på skolen, med udstyr som det burde være muligt at få finansieret.

### NDVI i Arktis målt med satellit

Man har i mange år målt NDVI via satellit i de arktiske områder og man er derfor ved at have tidsserier der kan korreleres med andre faktorer. Det har eksempelvis vist sig, at der er en tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem NDVI og SWI i Arktis. Se boks.

Det betyder med andre ord, at jo varmere en sommer er, des højere

**Figur 8** Bøgeblade fra samme bøgetræ på det tidspunkt, hvor bladene skifter farve fra lysgrønne til mørkegrønne blade. Der ses en stor variation i farvesammensætning, hvilket også vil afspejles i NDVI-målinger. Foto: © Jesper Ruggaard Mebus, 2012.



**Tabel 1** Ændringer i NDVI forskellige steder i Grønland. Umiddelbart er der ikke for Grønlands vedkommende nogle tendenser til at ændringerne i NDVI er bestemt af breddegrad.

Floristisk provins	Ændring i NDVI enheder pr. dekade (1982-2008)
Sydøstgrønland	-0,005
Centrale Østgrønland	0,005
Nordøstgrønland	0,007
Nordgrønland Ellesmere Island	0,011
Sydgrønland og Island	0,012
Sydvestgrønland	0,013

bliver NDVI. Sammenhængen mellem disse to faktorer består i, at plantedækket er sparsomt i Arktis og ved en højere temperatur vil plantedækket kunne blive større, hvilket vil få NDVI til at stige i et givent område. Satellitmålinger af ændringer af NDVI i Grønland viser – om ikke entydigt – at Grønland bliver grønnere. Det er tydeligt, at på nær Sydøstgrønland bliver alle dele af Grønland grønnere. Nordgrønland bliver især grønnere på grund af en tidligere snesmeltning og omdannelsen af arktisk ørken til tundra. I Sydgrønland og Island skyldes stigningen i NDVI varmere og gunstigere forhold i en længere periode.

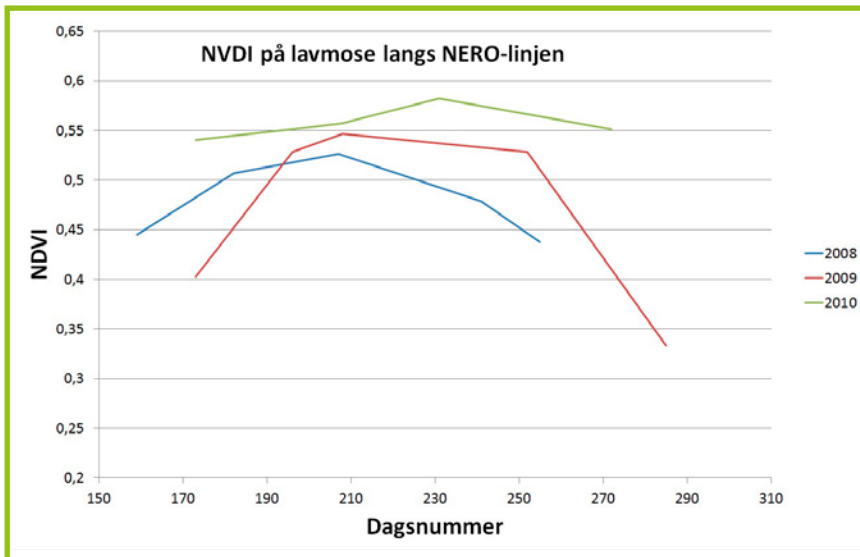
Generelt er den samlede tendens i Arktis, at det er i de nordlige egne, at NDVI ændrer sig mest medens der faktisk er størst ændringer i SWI i de sydlige egne af Arktis. Dette kan skyldes at bar jord erstattes af planter mod nord (op mod 95 % af arealet i de nordlige egne er vegetationsløse), hvorimod den ændrede temperatur i de sydlige dele af Arktis ikke nødvendigvis giver helt så store ændringer i NDVI.

### Resultater ved måling med Crop-circle

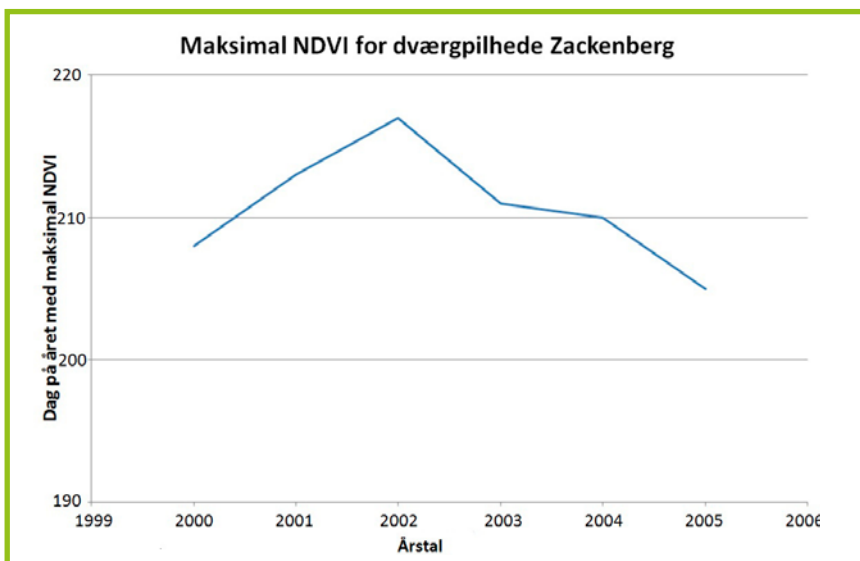
På to målestationer i Grønland anvendes denne type måling, nemlig Zackenberg i Nordøstgrønland og Nuuk Basic (ved Kobbefjord) på den sydlige del af vestkysten af Grønland. Resultaterne af forskernes dataindsamling af NDVI fra Nuuk (Kobbefjord) er ikke entydige, men måleresultaterne er også kun fra en treårig tidsserie, men der er visse tendenser der viser en forøget NDVI fra år til år. Specielt på lavmosen viser det en øget NDVI fra år til år – se figur 9, men hvis man ser på data fra dværgbuskhede er resultaterne ikke, således at man kan konkludere, at der sker en øgning i NDVI fra år til år (ikke illustreret). På Nuuk Basic har man offentliggjort tre års NDVI-målinger som illustreret på figur 9.

Figur 9 viser, at man i 2009 havde en senere snesmeltning end i 2008, og at den maksimale NDVI (det tidspunkt vegetationen er grønnest) er det samme både i 2008 og i 2009, nemlig efter ca. dag 207. Det ses dog også at det er mere grønt i 2009 end i 2008, hvilket var en af antagelserne ved et varmere klima, men om det er en overordnet trend eller om det er tilfældigt i forhold til nedbør

SWI betyder *Summer Warmth Index*. Det måles som de gennemsnitlige gradmåneder der er over 0 °C om sommeren. Disse summeres og regnes ud som et positivt tal. Er der eksempelvis en sommer med en måned med en gennemsnits-temperatur på 1 °C og en måned med en gennemsnits-temperatur på 2,5 °C og en måned med en gennemsnits-temperatur på 1 °C fås en SWI på  $1+2,5+1=4,5$ .



Figur 9 NDVI-indeks fra lavmose ved Kobbefjord (Nuuk) i løbet af en sommersæson. Omtegnet fra Nuuk Ecological Research Operations 4th Annual Report 2010.



Figur 10 Dagsnummer med maksimal NDVI som funktion af tiden på Dværgbuskhede med Dværgpil. Omtegnet fra Tamstorf, M. P, L. Illeris, B. U. Hansen and M. Wisz (2007): BMC Ecology, 7:9: Spectral measures and mixed models as valuable tools for investigating controls on land surface phenology in high arctic Greenland.

eller andre vejrmæssige udsving er ikke til at sige på to målinger. Zackenberg er den ældste målestation og har udgivet årlige rapporter om tilstanden ved Zackenberg siden 1995. På målestationen ved Zackenberg er der målt over en længere tidsperiode og data herfra viser, at planter blev grønne senere på året i perioden 2002 medens planterne var grønne tidligere på året i perioden 2000-2005. Måleserien afbilledet på figur 10 angiver den dag, hvor det maksimale årlige NDVI er målt i perioden 2000-2005. Igen er resultaterne ikke entydige, men man kan se at der er et fald hen over perioden, hvilket betyder, at der sker en forskubbelse i hvornår vegetationen er grønnest hen i mod en tidligere grønning. Dette skyldes, at vækstsæsonen begynder tidligere og når et maksimalt niveau tidligere. Hvilket selvfølgelig også har betydning for planteæderne, der helst skal have afkom når planterne er mest frodige, så der er mest muligt mad til afkommet. Der er uddybende materiale at hente på hjemmesiderne <http://www.zackenberg.dk> og <http://www.nuuk-basic.dk>

## Konklusioner

Man kan konstatere at måling af NDVI med Crop-circle er en god metode til at måle noget så udefinerligt som planters udbredelse. Tidligere har man i Raunkjærcirkler skønnet dækningsgraden, men nu kan man hurtigt få mere præcise data ved måling af transmitans fra en vegetationsdækket overflade. Selvom der er mange forhold der giver manglende præcision er det alligevel mere objektivt målt end de skøn af dækningsgrader man kan lave ved brug af Raunkjærcirkler.

Ved Nuuk Basic (Kobbefjord) er der med de nuværende data ikke fundet tegn på, at der langs det udstukne transekt er blevet grønnere i længere tid. Dette skyldes først og fremmest en senere snesmeltning i 2009 end i 2008 og dermed en kortere vækstsæson (ca. 20 dage). Alt andet lige ville man forvente en gradvis længere vækstsæson. Til gengæld er vegetationen grønnere i 2010 end i 2009, som var grønnere end i 2008, i hvert fald for lavmose hvor



der er tilstrækkelige med vandressourcer. Om dette er tilfældigt eller skyldes en begyndende trend er ikke til at sige. Ved Zackenberg er der tegn på at der er sket en tidligere grønning af vegetationen i perioden 2000 til 2005, hvilket kunne indikere en længere vækstsæson i Højarkt.

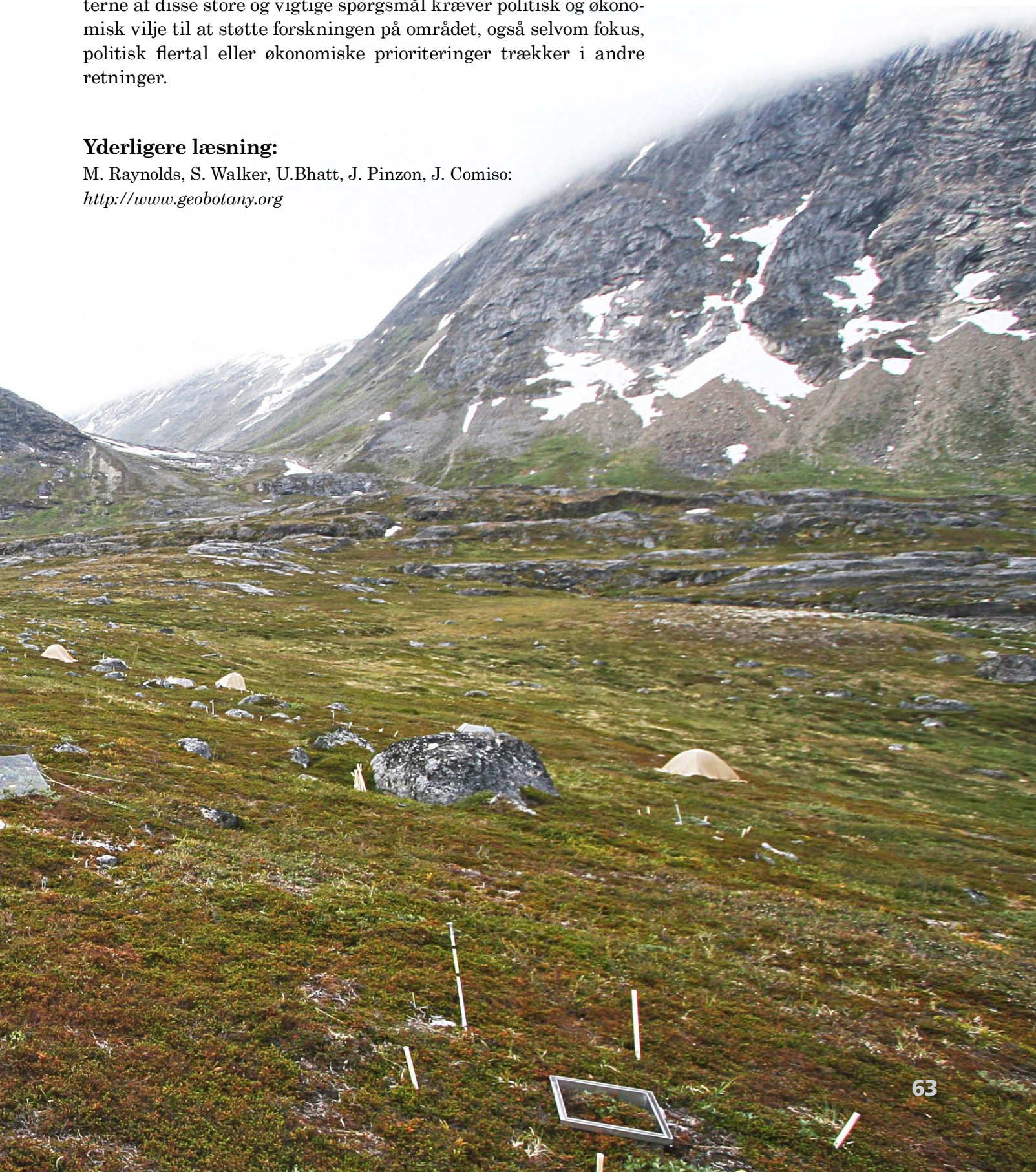
Det viser også at lange måleserier til belysning af problemstillinger er af stor betydning – som fx klimaforandringer. Resultaterne af disse store og vigtige spørgsmål kræver politisk og økonomisk vilje til at støtte forskningen på området, også selvom fokus, politisk flertal eller økonomiske prioriteringer trækker i andre retninger.

### **Yderligere læsning:**

M. Reynolds, S. Walker, U.Bhatt, J. Pinzon, J. Comiso:

<http://www.geobotany.org>

**Figur 11** Foto fra bunden af Kobbefjorden, hvor Nuuk Basic undersøgelsesarealet ligger. Foto: © Katrine Ravndrup 2010.



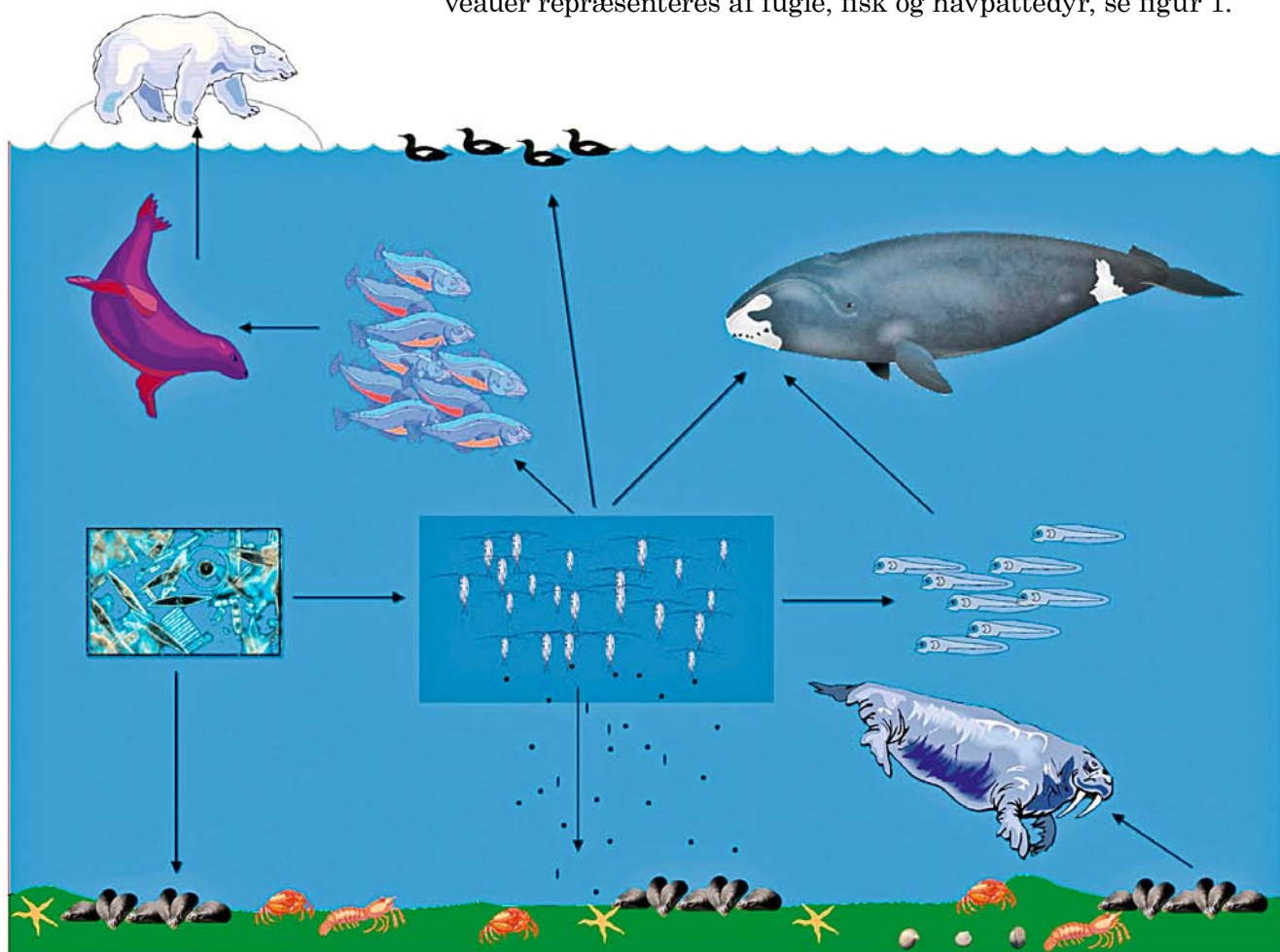


# Livet ved iskanten

Af Svend Erik Nielsen

Figur 1 Fødenet med fokus på copepodernes (vandloppersnes) rolle i Diskobugten.

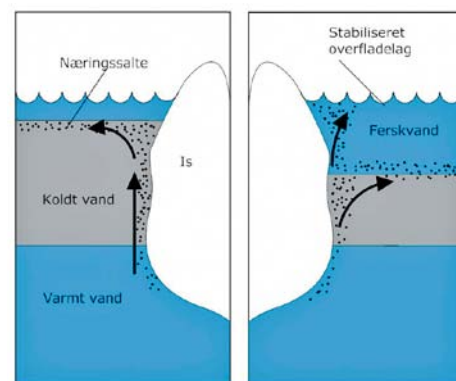
Hvem skulle tro at der langs iskanten i Diskobugten i Vestgrønland er grobund for et rigt dyreliv, når man tænker på de barske levevilkår der hersker der om vinteren, hvor hele bugten til tider kan være dækket af metertyk is? Og hvem skulle tro at små vandlopper (Copepoder) som findes i de arktiske havområder spiller en så stor rolle som tilfældet er? Disse små mikroskopiske dyreplankton, fx tanglopper (Amphipoder) spiller en afgørende rolle i de marine arktiske økosystemer. Det gør de, fordi de udgør det vigtigste led for transport af energi fra planteplankton/fytoplankton (alger) til højere næringsniveauer i fødekæden. Disse højere trofiske niveauer repræsenteres af fugle, fisk og havpattedyr, se figur 1.



Men hvad er så grunden til det rige liv ved iskanten? Der er flere grunde, men det faktum, at vandbevægelsen er stor gør, at alger og næringsstoffer kommer i kontakt med hinanden, der hvor sollyset er – nemlig i de øverste vandmasser. Det nyder de forskellige algetyper godt af, idet der skabes en stor primærproduktion som følge af stor fotosynteseaktivitet. Det rige liv ved iskanten og omkring smeltende isfjelde beror på den unikke vandbevægelse der sker om foråret og sommeren, hvor det kolde ferske vand først bevæger sig ned gennem vandsøjlen for derefter at stige til vejrs igen. Herved kommer det mere salt- og mineralholdige vand op i vandsøjlen, hvor planteplankton nyder godt af næringssaltene i forbindelse med deres primærproduktion. Dette fænomen kaldes upwelling.

Men allerede inden isen smelter og vandmasserne kommer i bevægelse som beskrevet ovenfor, sker der en stor primærproduktion i og under isen. Det kan synes utroligt, at nogle organismer er i stand til at leve i og under isen. Imidlertid har en række organismer, under ét kaldet isalger, tilpasset sig til at leve under disse forhold.

I havis og især på havisens underside findes en isalgeflora som består af kiselalger og flagellater. Disse isalger er tilpasset de ringe lysforhold i og under isen, og kan i perioder bevirke en ikke ubetydelig primærproduktion. Isalgerne lever i små kanaler og hulrum fyldt med højsalint vand (brine) i den nederste del af isen. Når havvandet fryser til is vil størstedelen af ionerne ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{PO}_4^{3-}$ ) blive udskilt til vandfasen. Derfor findes vand med meget høj saltholdighed i hulrum og kanaler i isen. Kanalerne har forbindelse til havvandet som giver ekstra næring til isalgerne i form af kvælstof og fosfor. Trods det begrænsede sollys under isen er isalgerne i stand til at lave fotosyntese og opbygge glukose. Hvor der er havis optræder fødekæder som er baseret på isalger, se figur 3. Tanglopper græsser på isalger og er igen vigtig føde for fx søkonger og polartorsk.



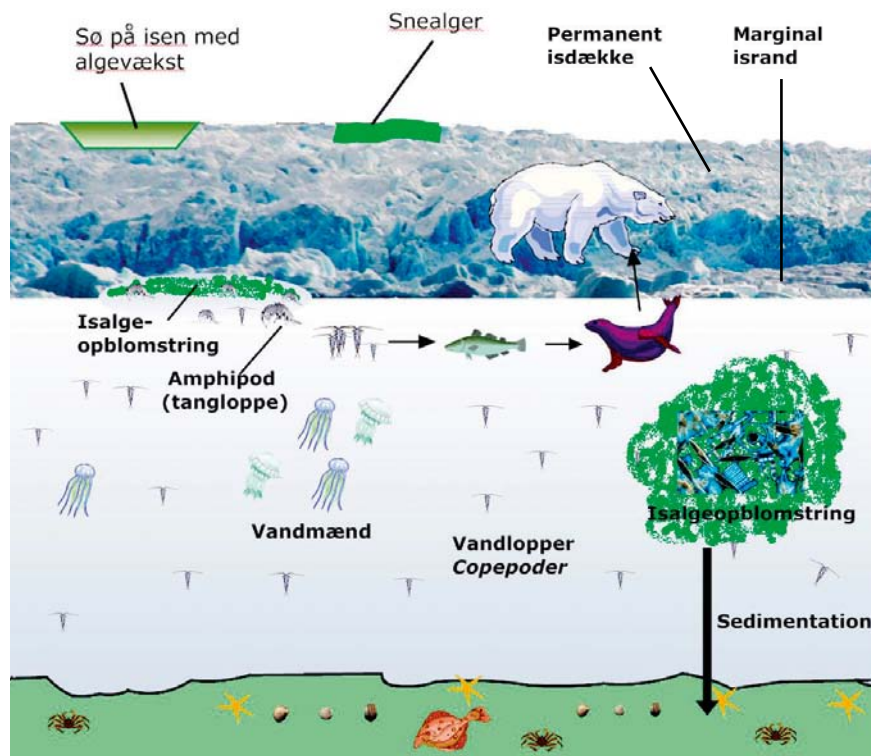
Figur 2 Isrand og flydende isbjerge virker som pumper til upwelling.

## ISALGER

Isalgefloraen er som oftest domineret af kiselalger og udsættes - som andre organismer i isen - for store fluktuationer i temperatur, saltholdighed, lysindstråling og næringsstoffer. Isalger er fysiologisk aktive ned til mere end  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  og en saltholdighed op til 10 %, mod en saltholdighed på 3,5 % i de oceaniske vandmasser.

Under ekstreme forhold danner de hvilestadier. At de kan eksistere under så ekstreme forhold kan forklares ved specielle tilpasningsmekanismer i membranfunktion og enzymaktivitet. De har en effektiv osmose-mekanisme, da forskelle i saltkoncentration normalt vil udsætte cellerne for osmotisk

stress. Flere alger er tillige i stand til at supplere deres til tider ringe fotosynteseaktivitet, ved heterotrofi, hvor de optager organiske stoffer som sukker og aminosyrer. Desuden har man påvist, at visse kiselalger producerer små mængder af dimethylsulphoxid, som virker som en slags frostvæske.



Figur 3 Israndens biologi.

I Vestgrønland og Diskobugten er dyreplankton domineret af vandlopper (*Calanus spp.*). Der findes tre forskellige arter, hvoraf de to er egentlige arktiske, og dermed tilpasset livet i de kolde vandmasser. Den tredje art er nordatlantisk og tilpasset varmere vandtemperaturer. De tre arter optræder i så enorme mængder, at Grønlandshvalen i århundrede er kommet til Vestgrønland og særlig Diskobugten for at fouragere i februar-april måned.

Den enorme primærproduktion som bl.a. isalgerne præsenterer, danner baggrund for en enorm vækst hos de forskellige arter af vandlopper. Nyere undersøgelser har vist, at vandloppernes evne til at opbygge fedtdepoter er af stor betydning for det grønlandske spisekammer.

Balancen mellem de tre *Calanus*-arter er af stor betydning for de fisk og havpattedyr som lever af vandlopperne. Temperaturen i havet er med til at bestemme denne balance som er vigtig, fordi de to arktiske arter indeholder mere energirigt fedt end den nordatlantiske art. Fedt spiller i det hele taget en vigtig rolle i de arktiske egne, dels fordi fedt indeholder dobbelt så meget energi som kulhydrat og proteiner, dels fordi fedt isolerer.

Som det fremgår af figur 5, kan der nogle år skydes varme vandmasser op i Diskobugten med det resultat at fordelingen mellem de tre vandlopperarter forskydes til fordel for den varmeelskende nordatlantiske art, *Calanus finmarchicus*.

Den arktiske vandloppe art *Calanus glacialis* kan blive op til en halv cm, og er tilpasset livet i de arktiske vandmasser ved at kunne

lagre fedt i depoter. Disse fedtdepoter gør det muligt at overleve den uproduktive vinterperiode, hvor den går i dvale nær bunden. Fedtdepoterne som er blevet opbygget gennem året gør det muligt at reproducere sig allerede før forårets algeopblomstring indfinder sig. I det tidlige forår stiger *Calanus glacialis* op til overfladen, hvor den begynder at lægge æg. Vandloppe-larverne lever af den opblomstring af alger som finder sted om foråret i fx Diskobugten. På den måde får denne vandloppeart et vigtigt forspring i forhold til den nordatlantiske art, som pænt må vente på det store forårs-algeboom.

### Klimaændringernes indflydelse

Varmere klima, mindre havis og en kortere periode med isdække er synlige spor af de pågående klimaændringer. Det er fremtiden for de marine økosystemer i Arktis. Undersøgelser fra Young Sund på den grønlandske østkyst har vist, at jo længere isfrie perioder des større primærproduktion. Dette vil forbedre levevilkårene for algerne, men en øget primærproduktion fører formodentlig til en ændring i de marine økosystemer. Som det er i dag er den isfri periode i Young Sund relativ kort og der er en tæt kobling mellem produktionen af planktonalger og vandloppersnes græsning. En længere isfri periode vil dels betyde en større primærproduktion, men tillige en mulig fremkomst af encellet dyreplankton. Hvad dette rolleskifte kan få af betydning må tiden vise.

Forsøg (Cornelius Grenvald *et al*) har vist, at fremtidens varmere vand kan betyde, at den fedtopbyggende vandloppe *Calanus glacialis* mister den konkurrencemæssige fordel med at kunne producere æg før andre vandlopper på bekostning af den atlantiske vandloppe *Calanus finmarchicus*. Hvis den sydlige art samtidig bliver mere hyppig, så vil fiskeynglen i området komme til at mangle det energiholdige fedt til at klare de kolde, mørke perioder.



Solenergi



Fytoplankton

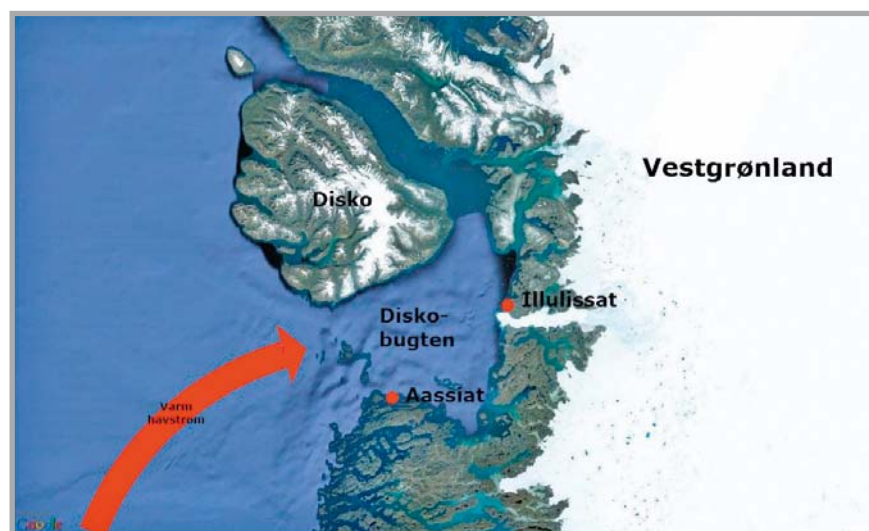


Zooplankton



Hval

Figur 4 Grønlandshvalens fødebiologi.



Figur 5 Varme havstrømme langs Grønlands vestkyst fører til indstrømning af varmere havvand i Diskobugten.

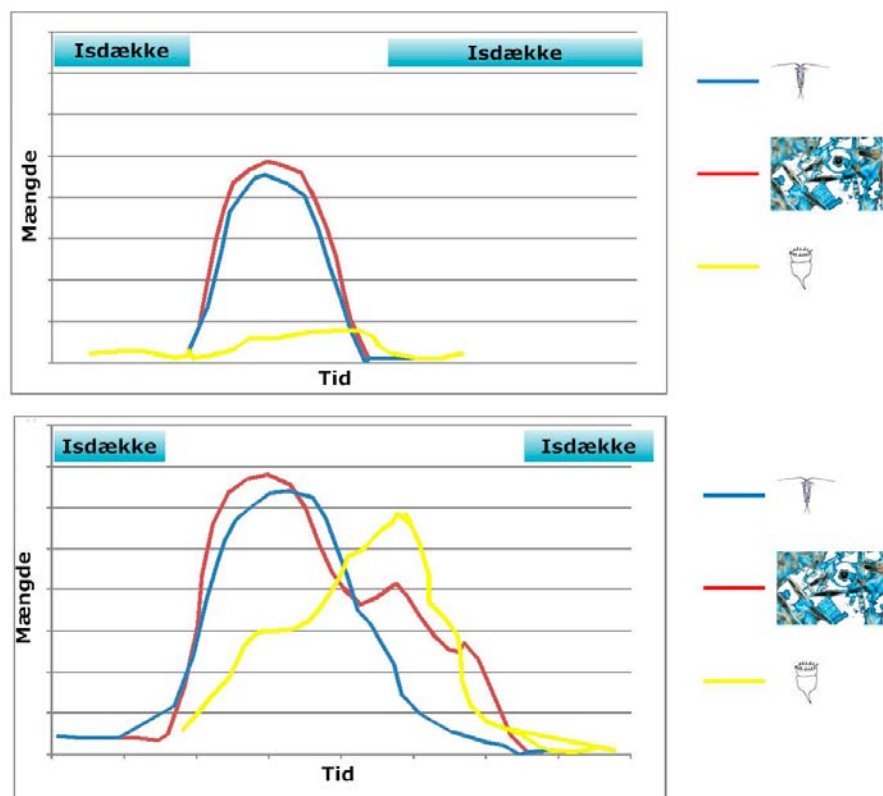
## Et andet problem

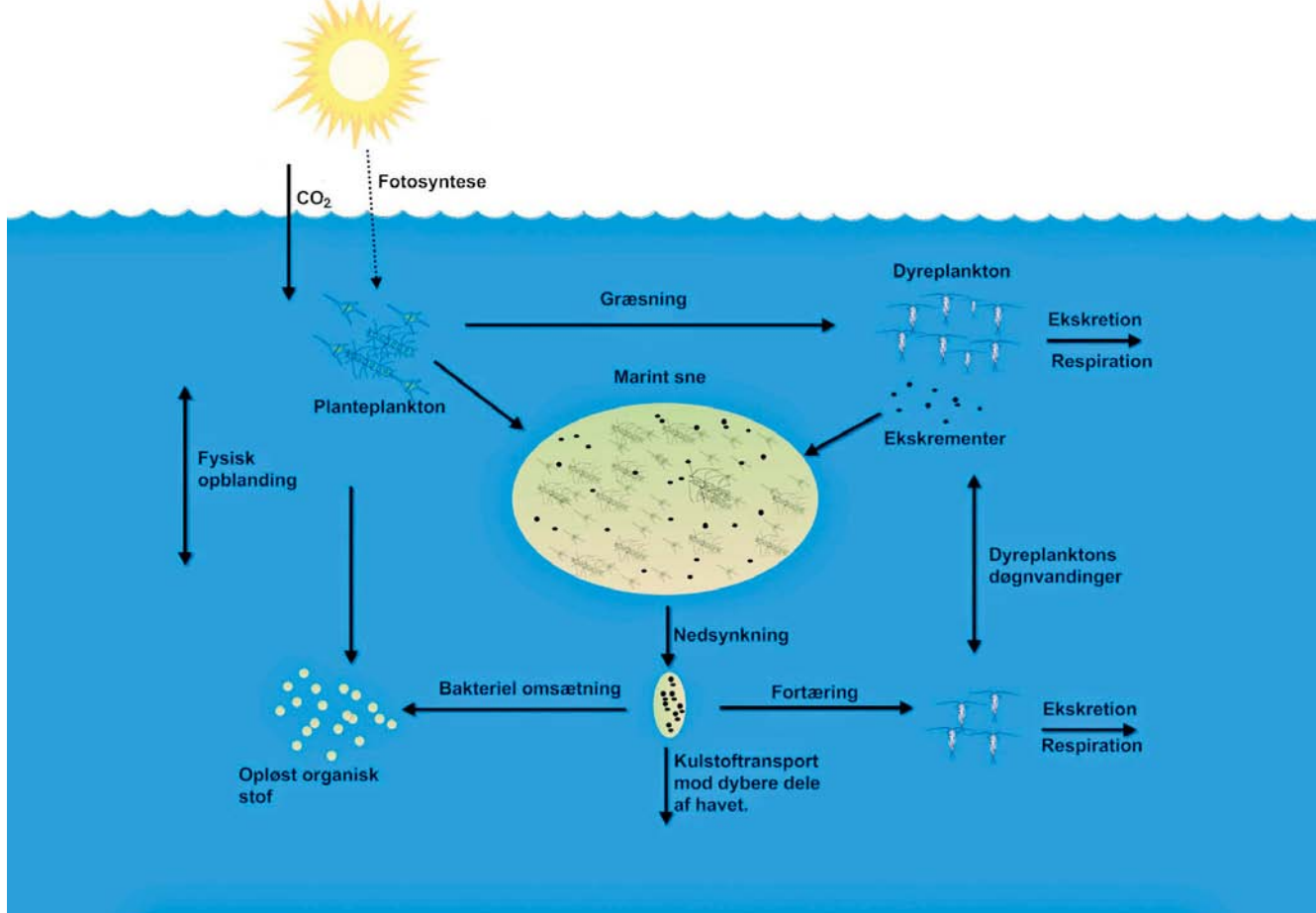
De store dominerende *Calanus*-arter overvintrer nede ved bunden på store dybder. De vender tilsyneladende tilbage til havoverfladen på samme tidspunkt år efter år, uafhængigt af hvornår isen forsvinder og forårsopblomstringen begynder. "Når *Calanus* ikke afstemmer sin ankomst til overfladelaget efter isdækkets varighed, vil et tidligt opbrud af havisen medføre at vandlopperne ankommer til overfladelaget efter hovedparten af forårsopblomstringen er overstået" (Forchhammer, M. C. *et al*). En sådan manglende koordinering eller mismatch – om man vil – mellem vandlopperens fremkomst og deres fødeemne kan have store konsekvenser for successionen i de pelagiske fødekæder og dermed for rekrutteringen af fisk og rejer. I år med tidlig afsmeltning eller ingen isdække vil vandlopperne komme for sent til middagen/forårsopblomstringen.

## Den biologiske CO<sub>2</sub>-pumpe

Planteplankton fikserer CO<sub>2</sub> ved fotosyntesen i de øverste dele af oceanerne. Den proces hvorved CO<sub>2</sub> transporteres ned i dybhavet kaldes den biologiske pumpe. Pumpens "hjerter" udgøres af planteplankton, dyreplankton, større dyr og bakterier. Planteplankton optager CO<sub>2</sub> og danner organisk stof. En del af dette organiske stofs kulstof transporteres ned i oceanernes dybere dele. Her lagres kulstoffet i mange år inden det igen frigives til atmosfæren som CO<sub>2</sub>. Generelt kan man sige, at jo større dybde CO<sub>2</sub> frigives på, jo længere varer det, inden det igen frigives til atmosfæren. På

Figur 6 Biomasse af henholdsvis planteplankton, vandlopper/copepoder og encellet dyreplankton. Der ses en forskydning mod flere encellede dyreplankton på bekostning af copepoderne ved en længere isfri periode.





samme måde kan man sige, at jo større planteplanktoncellerne er, des større er evnen til at transportere  $\text{CO}_2$  væk fra atmosfæren. Store celler synker nemlig hurtigere ned gennem vandsøjlen og indgår oftere i klumper af marint sne som hurtigt falder til bunds. Samtidig danner store planteplanktonarter kortere fødekæder, ligesom store dyreplanktonarter producerer store fækalier som synker hurtigt mod havbunden. Den biologiske pumpe i områder med forekomst af store planktoniske organismer er derfor mere effektiv end områder med små planktoniske organismer. I et område som Diskobugten, betyder de relativt store planktoniske organismer og den dermed langsomme omsætning, at der fjernes en betydelig del af den atmosfæriske  $\text{CO}_2$ . Hvis der sker et skift i antallet af de koldtandselskende større planktoniske organismer, som fx kiselalger og en ændring i artssammensætningen af de arktiske vandlopper, så vil transporten af  $\text{CO}_2$  via marint sne blive mindre og det vil have en uheldig indflydelse på atmosfærens indhold af  $\text{CO}_2$  og dermed drivhuseffekten. Marint sne er en fælles betegnelse for synkende planteplankton, døde celler og fækalier, som klumper sammen.

En særlig del af den biologiske pumpe udgøres af de dyreplankton og fisk som foretager døgnvandring op og ned i vandsøjlen. Nogle arter æder om natten i de øvre vandmasser og foretager vandring ned i dybet om dagen, for at undgå at blive spist af fx fiskeyngel. Derved kommer de til at virke som en slags kulstofelevatør der transporterer kulstof væk fra de dele af vandsøjlen som er i kontakt med atmosfæren, det sker bl.a. via fækalier og respiration.

Figur 7 Marint sne og den biologiske  $\text{CO}_2$ -pumpe.

# Temasider

## **SØKONGEN – GRØNLANDS MINDSTE OG TALRIGESTE FUGL**

Kun 150 g vejer den – Søkongen – og alligevel er den en central brik i de arktiske marine økosystemer. Grunden til dette er, at den findes i et enormt antal ved Grønland, som huser omkring 80 % af den totale søkongebestand i verden. Fugleforskere skønner, at mellem 20 og 40 millioner par søkonger yngler i Thule-området, og at kolonierne i Scoresbysund-området sandsynligvis indeholder mellem 5 og 10 millioner par.

Beregninger har vist, at når ungerne skal fodres, vil forældrefuglene i en koloni med 100.000 par dagligt hente omkring 5 tons føde i havet.

Søkongen tilbringer meget tid i og omkring kolonien, og derfor vil en stor del af føden, i form af ekskrementer, blive tilført landområdet omkring kolonien. Den normale transport af næringsstoffer sker fra land til hav, fx i forbindelse med at elve og floder løber ud i havet og derved transporterer store mængder af næringsstoffer ud i havet. Men i tilfældet med søkongerne sker transporten altså den modsatte vej.





Nyere undersøgelser viser, at søkongerne henter deres føde på vanddybder op til 25 meter. Hvert dyk efter føde varer ca. 1 minut. Når de små krebsdyr, vandlopper og tanglopper skal fanges sker det ved hjælp af en speciel teknik: Først dykker søkongen lynhurtigt ned til dybt vand for derefter ved hjælp af legemets opdrift langsomt at drive op gennem vandsøjlen. På vejen op fanges krebsdyrene enkeltvis. Både hannen og hunnen bringer føden i strubeposen tilbage til ungerne. Fangsten som vejer mellem 1 og 7 gram hjembringes fra havområder som ligger op til 50-60 km fra kolonien.

Hvorfor er søkongens liv og fødesøgning interessant og vigtig i et større klimaperspektiv? Søkongen er en art med høj grad af specialisering i fødevalget. Hos sådanne arter, hvor der ikke findes alternative fødeemner vil en varsel om globale klimaændringer komme tidlig. Klimaændringerne vil nemlig betyde, at søkongen enten vil ændre fødesøgningsvaner eller finde nye udbredelser. Søkongen må derfor siges at være følsom overfor ændringer i havstrømme og havets temperatur og dermed overfor klimaændringerne på samme måde som Grønlandshvalen. Favoritføden for begge er vandlopper.

I tidligere tider har søkongen i øvrigt været et særdeles vigtigt jagtdyr i Grønland, hvor den har spillet en betydelig rolle dels som forrådskilde i form af spæksyltet søkonge, dels i forbindelse med at levere pels til den traditionelle klædedragt som blev båret direkte på den nøgne hud.

**Søkonger** Fotos begge sider:  
© Svend Erik Nielsen, 2012.



## Fremtiden

De marine økosystemer omkring Grønland kan komme til at undergå store ændringer, hvis der sker en general opvarmning af havmasserne i den kommende tid. Vi har tidligere i 70'erne set hvordan et ganske lille fald i havtemperaturen betød, at torskene ikke længere gydede ved den grønlandske vestkyst.

Havtemperaturen har – som vi har set det – en central betydning i balancen mellem de tre arter af vandlopper (Copepoder), der optræder i kolossale mængder i de frie vandmasser i havet. Da disse vandlopper er hovedleverandøren af de vigtige, næringsholdige fedtstoffer til de højere trofiske niveauer i de arktiske økosystemer, er netop de arter som er rige på fedtstoffer af uvurderlig betydning for de arktiske spisekamre. Fisk lever af vandlopper, ligesom en stor del af verdensbestanden af Grønlandshvaler æder sig mætte af fedtholdige vandlopper i Diskobugten. Tipper balancen mellem de tre arter af vandlopper kan det få katastrofale konsekvenser for det grønlandske fiskeri og bestanden af Grønlandshvaler.

Samtidig spiller fyto- og zooplankton en vigtig rolle i forbindelse med opretholdelse af den biologiske pumpe som sørger for at store mængder af CO<sub>2</sub> transporteres væk fra atmosfæren ned i vandmasser til havets bund. En nedsat transport vil have negativ indflydelse på atmosfæren og vil dermed være med til at accelerere de pågående klimaændringer. Det kan være svært at forstå at små millimeter store organismer spiller en så stor rolle for opretholdelse af de vigtige økosystemer og det globale klima.

## Videre læsning

ACIA: *Arctic Climate Impact Assessment, Impacts of a warming Arctic*, Cambridge University Press, 2004.

*Arctic Research*.

Born E. W og J. Böcher (red): Grønlands økologi. *Atuakkiorfik Undervisning 1999*. Grønlands økologi.

Cornelius Grenvald, Julie, M. Hjorth, L. Reeh og T. Gissel Nielsen.: Olie i Arktis. *Aktuel naturvidenskab* 3/2012.

Rysgaard Søren, Mikael K. Sejr, Peter Bondo Christensen, Erik W. Born og Ronnie N. Glud: *Det marine miljø. I Naturen og klimaændringerne i Nordøstgrønland* (Red: Forchhammer, M. C. et al), Aarhus Universitetsforlag 2009.

Mouritsen, Lone Thybo: Oceanernes betydning for vores klima. *Naturens Verden* 1/2008.

# Vegetationens tilpasninger til arktisk og subarktisk klima

Af Jesper Ruggaard Mebus

## Klimainddelinger

Det polare klima er defineret ved at være med frost og med korte somre, så trævækst ikke er mulig. Det viser sig, at grænsen for trævækst netop er defineret ved en maksimal månedlig sommertemperatur på 10 °C, hvilket vil sige at grænsen mellem det polare klimabælte og det tempererede netop er ved 10 °C. Yderligere kan det arktiske klimabælte inddeles i et højarktisk område (sommertemperatur maksimalt 5 °C) og et lavarktisk område med sommertemperaturer mellem 5-10 °C. I det tempererede område er der skov og sommertemperaturen er over 10 °C. Alt efter om sommeren er kort eller lang (grænsen er ved 4,5 måneder over 10 °C), vil der være nåleskov i de tempererede områder med korte somre og løvskov i områder med lange somre. I området ved Arktis vil der derfor mod syd være nåletræer, som længst mod nord vil stå spredt og længere mod syd vil danne sammenhængende nåleskove. Området med spredt trævegetation kaldes subarktisk klima. Det er typisk præget af spredte nåletræer (Gran), med dværgbuske og urter ind i mellem.

## Plantedække

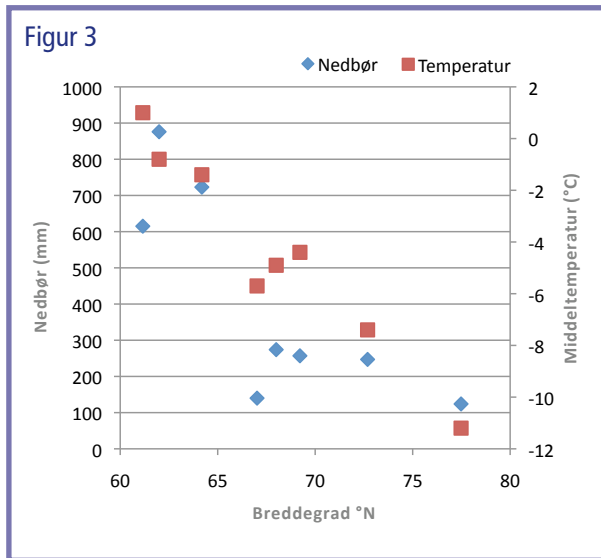
Man skelner mellem arktisk vegetation, der er tilknyttet de kolde områder i Arktis og alpin vegetation som både findes i Arktis og i polare områder i højderne. Det er nemlig således at luften afkøles med ca. 1 °C pr. 100 m ved tør opstigning og 0,5 °C pr. 100 m når der dannes skyer på bjergsiderne.



Figur 1 Trægrænse (grøn) og 10 °C juli isotherm (sort). Trægrænsen hen over havet er selvfølgelig bare et estimat.<sup>1</sup>

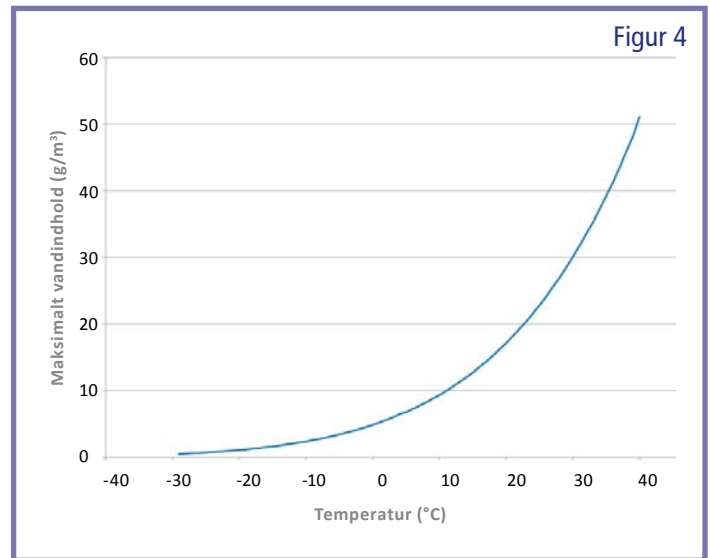
Figur 2 Billedet viser det subarktiske område i Norge (Høvringen, Rondarne). Til venstre ses den sparsomme nåletræsvegetation, medens dalen til højre i billedet har en mere sammenhængende nåleskov. På fjeldtoppene er der ingen trævækst. Foto: © Jesper Ruggaard Mebus 2003.





**Figur 3** Figuren viser den årlige middeltemperatur og nedbør som funktion af breddegraden i Vestgrønland. Det ses, at temperaturen falder næsten lineært med stigende breddegrad, medens der er større variation i nedbørsmængden. Dette skyldes at nedbør er påvirket af mange forskellige forhold, nemlig bjerge, afstand til hav og is. Punktet ved 67°N med lav temperatur og lav nedbør er fra lufthavnen i Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord), der som eneste klimastation ligger meget langt fra hav.

**Figur 4** Det ses, at kold luft kan indeholde meget mindre vand end varmere luft, hvilket betyder at kold luft er tør luft.



Ved et varmere klima må indvandring af nye arter til Arktis forventes netop at komme fra den subarktiske vegetation. Arterne invaderer den lavarktiske vegetation, som til gengæld kan brede sig mod nord på bekostning af den højarktiske vegetation.

Generelt er det et mere kompliceret billede der tegner sig i forbindelse med en stigende temperatur end bare at betragte temperaturen som eneste parameter. Der er nemlig en sammenhæng mellem temperatur og nedbør og fordampning, hvilket påvirker vandets kredsløb på en måde som er vigtig for vegetationen. Betragter man middelårstemperaturen fra syd mod nord i det vestlige Grønland, fås en faldende temperaturkurve langs breddegraderne, – men det er også tydeligt at se at der er en faldende nedbørsmængde, se figur 3. Dette kan forklares med at nedbør forekommer når en luftmasse afkøles og da der ikke er meget vand i luften i kold luft er nedbørsmængderne i Højarktis normalt lave. På figur 4 ses det at kurven er meget flad i det kolde område og mere stejl ved varmere temperaturer. Det betyder, at hvis luftens temperatur falder med 10 grader når middeltemperaturen er omkring 0 °C, vil der ikke komme meget vand ud af luften (det ses på hældningen af kurven omkring 0 °C - ca. 2 g vand/m<sup>3</sup>), medens der ved en middeltemperatur på 25 °C er fire gange så stor hældningskoefficient (ca. 8 g vand/m<sup>3</sup>).

### Plantetyper og deres globale fordeling

Generelt er det således, at biodiversiteten falder med stigende breddegrader, idet der er mange forskellige arter ved ækvator og færre mod polerne (se figur 5). Man diskuterer tre grunde til dette fænomen, der i yderpunkterne kan skitseres som følger:

1. Troperne omfatter et større areal end polerne og derfor er der flere nicher som organismerne kan søge til (arealargumentet).

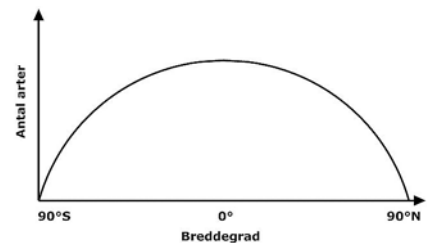
2. Tropernes større artsdiversitet skyldes, at der i lang tid har været en evolutionær udvikling uden de store klimapåvirkninger og derfor er flere arter tilpasset til at leve i troperne (tidsargumentet).
3. Energtilførslen fra solen er større og mere konstant i troperne end i de polare områder og derfor er der i troperne en konstant høj energistrøm i fødekæderne, hvilket øger artsdiversiteten (energiargumentet).

Disse argumenter er ikke eksklusive, men kan kombineres til en samlet forståelse for at livet i Arktis er mere sårbart og med mindre artsrigdom. Dette skyldes bl.a. den korte vækstsæson, de korte somre og den ekstreme tilpasning til koldt klima.

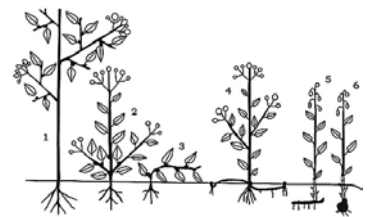
Planters tilpasninger til arktisk klima kan fx beskrives ud fra Raunkiærs system om livsformer. Se figur 6 – her er kun medtaget landplanterne. Planterne inddeles efter, hvor højt deres overvintrende skud sidder over jordoverfladen. Planterne inddeles i kategorier der kaldes:

- 1: Fanerofyt: Planter med overvintrende skud over 25 cm fra jorden (træer, buske mv.).
- 2+3: Chamaefyt: Lave planter (< ½ m); overvintrer med knopper over jorden (dværgbuske).
- 4: Hemikryptofyt: Urter. Visner væk om vinteren og spirer frem om sommeren (stauder).
- 5+6: Geofyt: Overvintrer som knolde, løg eller jordstængel (løg og knoldvækster).

Ud over dette findes eårige planter og vand- og sumpplanter. Det er specielt vigtigt at beskæftige sig med disse livsformer, for planterne i Arktis er beskyttet af snelaget, der om vinteren giver læ og hæver temperaturen på tidspunkter, hvor afkøling på grund af udstråling kan være meget stor. Det betyder at planter der har deres

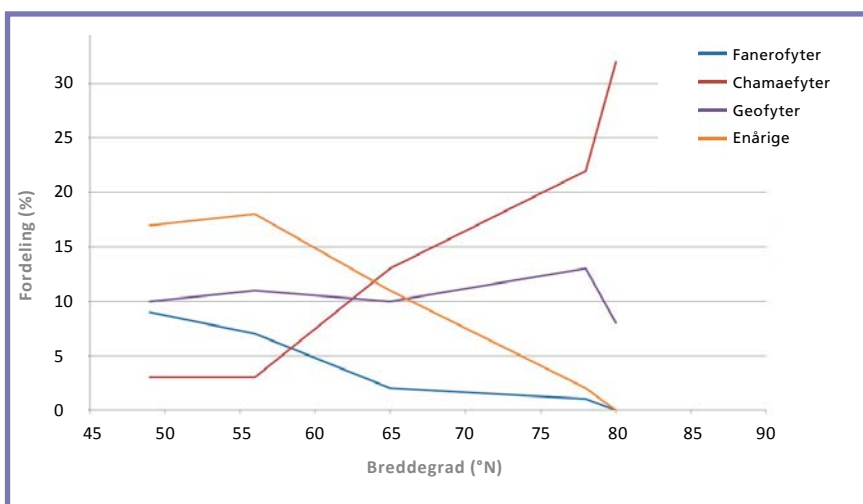


Figur 5 Model af artsrigdom som funktion af breddegraden. Jo mere man nærmer sig polerne des lavere artsdiversitet.<sup>2</sup>



Figur 6 Raunkiærs livsformer (fra Wikipedia Commons)

Figur 7 Den procentvise fordeling af livsformstyper fra syd mod nord – gennem Nordeuropa mod Frans Joseph Land. Det ses at dværgbuske bliver langt mere udbredte mod Arktis på bekostning af træer/buske og enårige, medens geofyterne er mere jævnt fordelt. Hemikryptofyterne og vand/sumpplanter fremgår ikke af ovenstående graf, men vand/sumpplanter er mere hyppige ved breddegrader mellem 55°N og 65°N end de er ved lave breddegrader (stor fordampning) og ved høje breddegrader (lav nedbørsmængde). Hemikryptofyterne har en jævn udbredelse med ca. 50-60 % i hele det undersøgte område. Man kan dog sige at rosetplanter er mere udbredte i Arktis end i tempererede områder, da varmen fra jorden er betydelig for spiringen. Data fra The Ecology of Greenland. Illinuisiorfik, Nuuk. 2000.



skud ved eller tæt ved jorden (chamaefytter, dværgbuske) har en fordel da de om vinteren er dækket af sne og om sommeren kan få varme fra jorden, hvilket fremmer deres vækst.

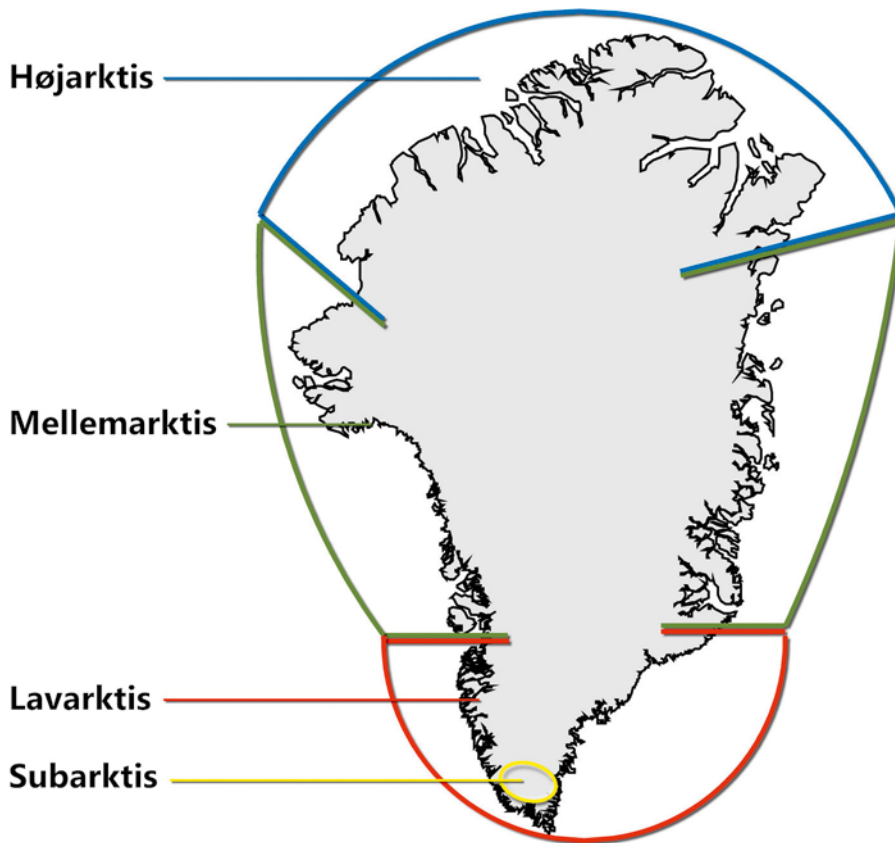
En fordeling af planterne efter Raunkiærs system fra nord mod syd viser, at netop dværgbuske kun har evolutionær succes ved de breddegrader, hvor der ikke vokser træer (fanerofyter). Det skyldes selvfølgelig, at der nord for trægrænsen ikke er den samme konkurrence om lyset, da træer ikke kan skygge dværgvækster ud. I Arktis kan sommeren være så kort, at planterne ikke når at sætte frø; derfor er enårige planter, der skal overvintre som frø helt fraværende i Højarktis. Disse planter har ofte et stort spredningspotentiale i ryddede områder, og vil i Danmark være de første til at kolonisere en brandtomt, men disse planter er altså fraværende i Arktis. Derfor ligger store dele af bjergsider og flade områder i gamle smeltevandsdale hen uden vegetation, og spredningen til disse områder sker normalt meget langsomt.

Planterne i Grønland består derfor ofte af dværgbuske, som kun i meget lille grad er repræsenteret i Danmark, med planter som fx Hedelyng, Klokkelyng og Revling, der vokser på heder, hvor der ikke er trævækst og Tyttebær, Blåbær og Mosebølle der fx vokser i højmoser og i åbne, birke- eller fyrreskove, hvor lyset kan nå ned til planterne. I tættere skovdækkede områder vil man ikke finde langsomt voksende planter som chamaefytter, da fanerofyterne vil vinde lyskonkurrencen. De vækster der er i Arktis er "dværgudgaver" af slægter vi også har på lavere breddegrader. Fx er slægterne pil og birk repræsenteret ved Dværgbirk og Blågrå pil (der er flere pilearter), som begge ikke er meget højere end lyngplanter. Disse planter hører til de stresstolerante planter, der kan klare sig under barske klimatiske forhold, og som har en vækst der er langsom.

Vegetationen er ikke bare en funktion af temperaturen, men som vist i figur 3 og 4 er der en tæt sammenhæng mellem temperatur og nedbør, som bliver mindre med faldende gennemsnitstemperatur. Områder med lidt nedbør og varmt fastlandsklima kan

Figur 8 Forskellige plantesamfunds placering i forhold til temperatur og nedbør.





Figur 9 Inddelingen i Lavarktisk, Mellemarktisk og Højarktisk. I forbindelse med en opvarmning af Grønland vil det rykke bælteerne mod nord på bekostningen af de specifikke planter der hører til i Højarktisk.

forekomme, hvilket resulterer i nedbørsunderskud og man har derfor arktisk ørken. Inddelingen af vegetationstyper i forskellige plantesamfund kan skematisk vises som i figur 8, hvor temperaturen er givet på y-aksen og nedbørsmængden/nedbørsoverskuddet er på x-aksen.

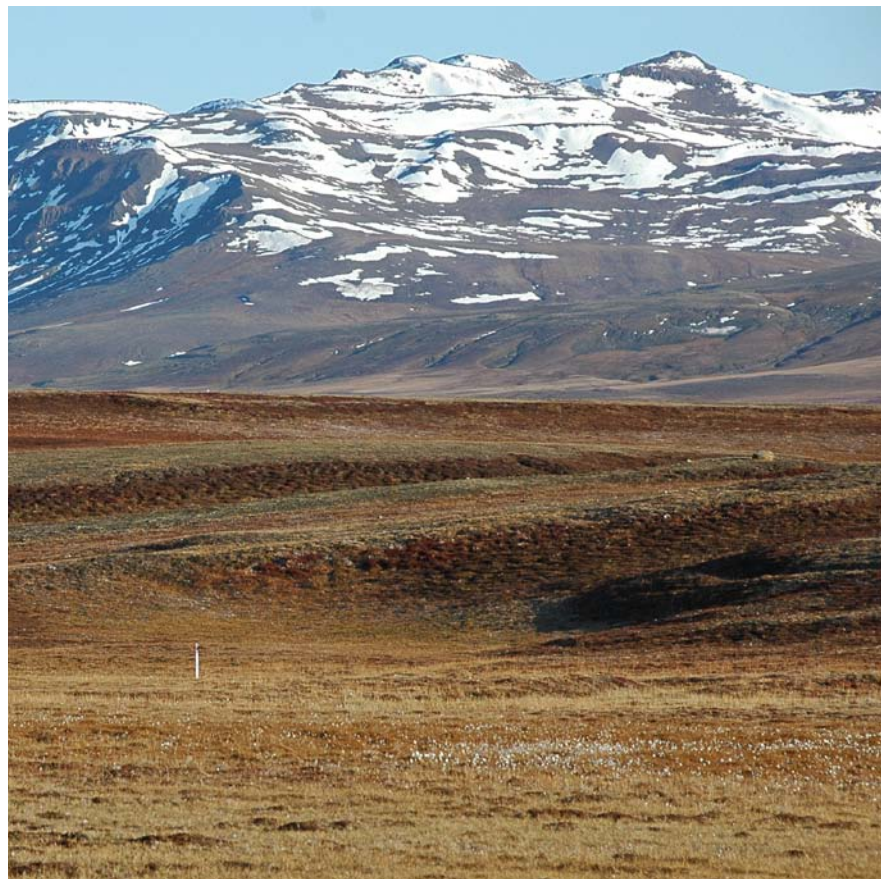
Inddelingen af områder i Subarktisk, Lavarktisk og Højarktisk er defineret af forskelle i temperatur, og overgangen mellem tempereret Subarktisk og Arktisk er kendetegnet ved et af de mest markante floristiske træk, nemlig trægrænsen. I Arktisk vokser der ikke træer og inddelingen her er derfor skarp og sætter et betydeligt biologisk spor. Grænsen mellem Lavarktisk og Højarktisk går ved en gennemsnitlig sommertemperatur på 5 °C. Vegetationsmæssigt er Lavarktisk karakteriseret ved at være frodigt og have busklignende vegetation der når knæhøjde. Højarktisk er domineret af dværgbúske der når ankelhøjde og som forekommer som mere spredt vegetation. I løbet af de senere år har man underinddelt Højarktisk i to vegetationszoner, nemlig Mellemarktisk og Højarktisk, men det er ikke ud fra en temperaturinddeling, men derimod en undersøgelse af arternes udbredelse, og der er meget stor forskel på arterne i det nordlige Højarktisk og det sydlige beliggende Mellemarktisk. Der er derfor snarere tale om en inddeling i 3 zoner, nemlig Lavarktisk, Mellemarktisk og Højarktisk end den traditionelle inddeling i Høj- og Lavarktisk. Se figur 9.

Topografien har også betydning for plantesamfundene. Planter der vokser på skrånninger kommer oftere ud for tørkestress end planter



**Figur 10** Der er en tydelig forskel på planterne i bunden af dalen og på de to skrånninger. Det ses at planterne vokser frodigst i dalbunden og mere tueformet på skrånningerne. Det ses, at der hvor der er klippegrund eller flydejord omkring de stejle partier af bjerget i baggrunden, er der ingen vegetation. Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.

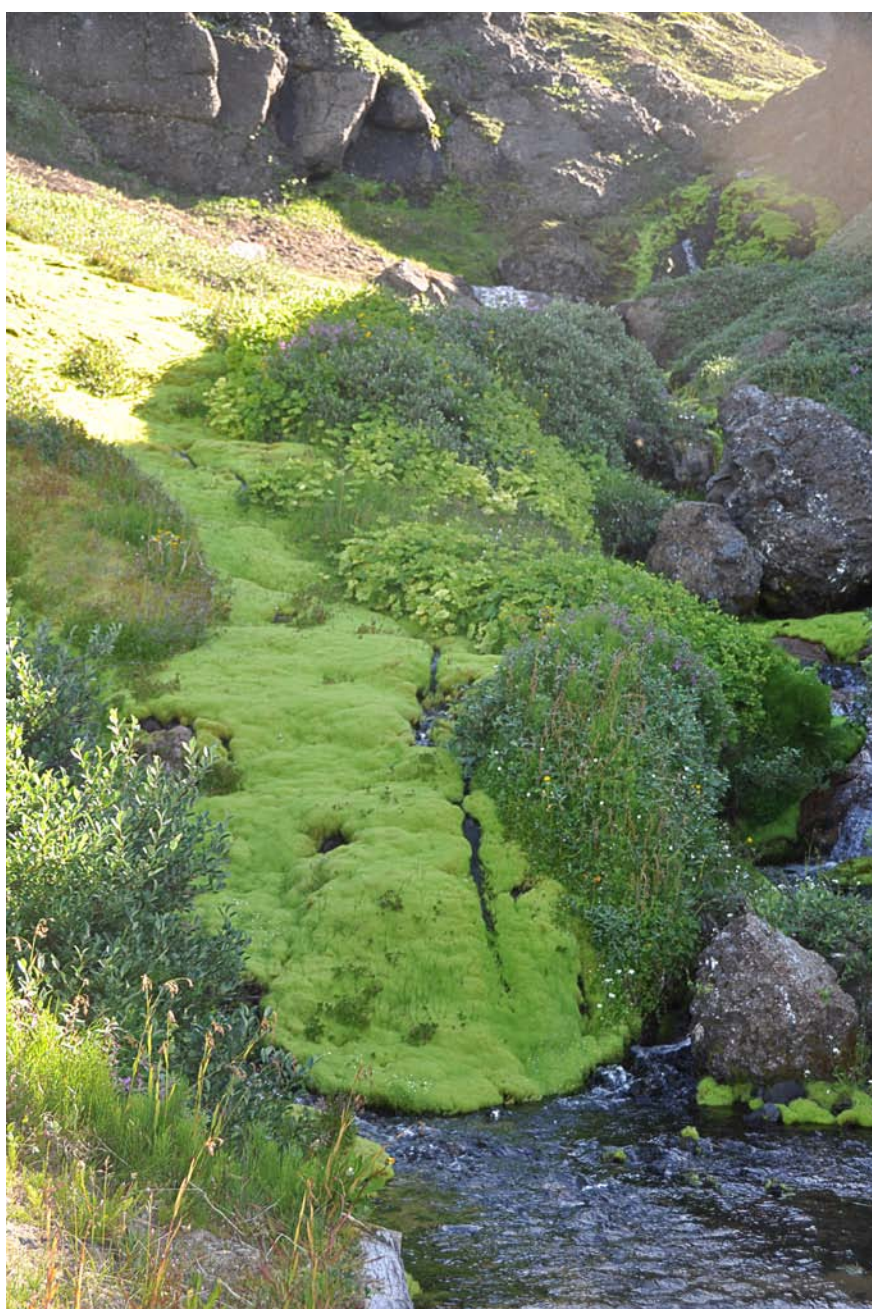
**Figur 11** En dalbund længere mod nord. Selvom dalbunden er fugtig (ses på de hvide kæruld) er det en meget mere spredt vegetation – en såkaldt tundra. Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.



der vokser i bunden af en dal, hvor vandet samler sig. Det er klart, at nordvendte skråninger ikke giver samme grad af tørkestress som sydvendte skråninger, hvor solens indstråling er kraftigst. Se figur 10 og 11.

### **Specielle tilpasninger og specielle forhold**

Der findes på Disko mange varme kilder og der har planterne meget optimale forhold. Sommeren er dog lysmæssigt for kort (Disko ligger nord for Polarcirklen og har derfor flere måneder uden dagslys) til at der kan vokse træer, men frugtbarheden er stor og buske trives ganske glimrende langs disse varme kilder eller i afløbsvandet fra en sådan kilde. Se figur 12.



**Figur 12** Det frodige planteliv ved en varm kilde.  
Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.





Figur 13 Fremspirede planter under en snefane.

Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.



Figur 14 En fremspiret plante. Læg mærke til det kraftige rodnet, hvor man tydeligt kan se det er en flerårig plante.

Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.

En måde planter kan klare den korte sommer er at være på forkant med snesmeltningen. Planterne forspirer faktisk under snedækket så de er parate til at vokse frem lige så snart sneen smelter. Dermed kommer sneen til at virke som et drivhus med beskyttelse for barfrost og med tilpas lysgennemtrængning til, at planterne kan danne klorofyl. Dette træk går igen hos mange arter i Arktis og er derfor en tilpasning man må formode er opstået mange gange som en tilpasning til et køligt klima og en kort vækstsæson. Se figur 13 og 14.

### Klimaændringer

Med de kommende klimaændringer er det svært at forudse, hvordan udviklingen i vegetationen vil være. Man forventer øget vinternedbør og en længere vækstsæson, og man er meget klar over at netop det sidste har stor betydning for planternes spredningspotentiale. Kan planterne sætte frø hvert år vil en del planter der findes i forvejen kunne spredes til større områder, men også andre planter som fx enårige vil få en mulighed for at slå sig ned, sikkert ikke i Højarktis, men længere mod syd. Disse planter vil have en stor mulighed for at gøre Grønland grønnere. Længere mod nord er der forskellige faktorer der vil indvirke på vegetationen. På den ene side er der en længere vækstsæson på grund af en tidligere sneafsmeltning, og på grund af den øgede vinternedbør vil der også være en øget vandtilgængelighed i begyndelsen af vækstsæsonen. Spørgsmålet er, om det også giver en ændring i plantedækket og en eventuel ændring af artssammensætningen i Arktis. Umiddelbart vil man med en længere vækstsæson få et øget plantedække, og muligvis vil høje urter (geofyter og hemikryptofyter) klare sig bedre i et varmere klima. Det er dog ikke til at sige om det sker på bekostning af dværgbuske, eller om årsagen er en generel øget plantevækst med en større samlet biomasse. Men også andre forhold spiller ind. Som det tidligere er vist er nedbørsmængden i kolde egne meget mindre end i varmere egne, og selvom klimaet bliver varmere vil nedbørsmængden stadigvæk være moderat, hvilket kan komme til at virke hæmmende på plantevæksten. Klimaets fysiske rammer og dens betydning for plantevækst er ikke kun et spørgsmål om temperatur, men også nedbør. Det er derfor usikkert, hvilke ændringer i plantesamfundene der vil kunne forekomme, og derfor er det vigtigt at måle disse. Det bliver spændende at følge denne udvikling nøje i de kommende år.

### Noter

- 1 Gentegnet fra: Hallanaro, E-L. & M. Pylvänäinen: Nature in Northern Europe. *Biodiversity in a changing environment*. Nordic Council of ministers. 2002.
- 2 Gentegnet fra: Lévêque, C. & J-C. Mounolou: *Biodiversity*. John Wiley & Sons. 2003

# Reproduktionsstrategier

Af Svend Erik Nielsen

Planter som findes i Grønland er tilpasset de varierende levebetingelser på forskellig vis. To af de vigtigste tilpasningsmekanismer gælder tilpasning til fotosyntese ved lave temperaturer og alternative reproduktionsstrategier, som fx selvbestøvning og vegetative udløbere, ligesom flere arter er i stand til at "føde levende unger".

## Fotosyntese i Grønland

Arktiske planter er i stand til at udføre maksimal fotosyntese ved lave temperaturer. Det betyder, at de starter fotosyntesen allerede under sneen i det tidlige forår. Selvom den lysmængde som trænger gennem sneen er lille, kan den udnyttes maksimalt, da lyset har de rigtige bølgelængder til brug for fotosyntesen. Når sneen forsvinder, er planterne i fuld vækst og forlænger på denne måde vækstsæsonen. Ulempen ved at være tilpasset de lave temperaturer er, at hvis temperaturen stiger så forøges respirationen kraftigt, hvorved kulhydratdepoterne tømmes. Denne situation kan de arktiske planter opleve midt på dagen, hvorved respirationen overstiger fotosyntesen og tilvæksten i biomassen bliver negativ. En stigning på 1 °C i vækstsæsonen betyder for visse arktiske planter en nedgang i netto-fotosyntesen på mere end 25 %. Dette illustrerer vigtigheden af, at de arktiske planter har næringsdepoter som kan dække flere år. En måde at tilpasse sig de korte og varierende vækstsæsoner på, er at have udviklet aperiodisk vækst, hvilket gør planterne i stand til at udnytte de gunstige perioder til fotosyntese og vækst. Derved udnyttes sæsonen fuldt ud. Fx kan Fjeldsyre tænde og slukke for væksten flere gange i løbet af en vækstsæson.

At planternes underjordiske kulstofdepoter er vigtige viste en undersøgelse fra arktisk Canada. Undersøgelsen viste, at 75 % af det optagne kulstof blev transporteret til de underjordiske plantedele. Denne oplægsnæring er specielt vigtig for arktiske planter, idet det gør det muligt for planterne at udnytte perioder i forsommeren, hvor lufttemperaturen er høj nok til at starte fotosyntesen, men hvor rødderne ikke er tøet op så optagelse af næringsstoffer ikke er mulig.

En anden form for tilpasning sker om efteråret når planterne flytter størstedelen af næringsstofferne fra bladene til andre dele af

**Figur 1** Storblomstret Gederams eller som den også kaldes: Bredbladet Gederams (*Chamaenerion latifolium* L.) . Foto: © Jesper Ruggaard Mebus, 2012.



planten. Dette genbrug af næringsstoffer fra fx visne blade er en tilpasning til de begrænsede næringsstoffer i Arktis.

### **Mange forskellige måder at formere sig på**

Hos planter findes der mange forskellige måder at formere sig på, udover den normale fremmedbestøvning som foregår ved hjælp af dyr eller vind.

For at undgå afhængigheden af insektbestøvning, udvikler mange planter i arktiske egne frø efter selvbestøvning. Andre danner frø uden forudgående befrugtning, eller erstatter blomster og frø med små ynglelegemer der falder af, og derved reproducerer

arten sig. Andre arter har vegetativ formering, hvor der dannes nye individer eller hele kloner. Alle disse formeringsformer er velrepræsenterede i Arktis.

Ja, selv orkideer og gederams, som i resten af verden er tilpasset og udviklet specielt til insektbestøvning, er i Grønland selvbestøvende, selvom de i deres blomsterbygning har bibeholdt de raffinerede apparater til insektbestøvning, se figur 1.

### Reproduktionsstrategier hos arktiske planter

Flerårige blomsterplanter i Arktis kan reproducere sig på to principielt forskellige måder; ved hjælp af kønnet og ukønnet formering. Kønnet formering eller reproduktion kræver produktion af blomster som kan bestøves, mens ukønnet formering kan ske ved fx at lave vegetative over- eller underjordiske udløbere. I Grønland reproducerer et stort antal planter sig vegetativt ved hjælp af udløbere, som det er tilfældet med Edderkop-Stenbræk (se figur 2 og 3) eller ved yngleknopper som det er tilfældet for Topspirende Pileurt.

Figur 2 Edderkop-Stenbræk (*Saxifraga platysepala* Trautv.)  
Habitus. Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.



**Figur 3** Edderkop-Stenbræk  
(*Saxifraga platysepala* Trautv.)  
Med vegetative udløbere. Foto:  
© Svend Erik Nielsen, 2012.



**Figur 4** Dal-Viol (*Viola selkirkii*  
Pursh ex Goldie). Kleistogam  
blomst. Foto: © Svend Erik  
Nielsen, 2012.



Arktiske planter danner mange blomster med stort antal af pollen og frøanlæg. Mange blomsters morfologi, bygning og form, giver mulighed for selvbestøvning, da afstanden mellem støvknop og støvfang er lille. Denne mulighed for selvbestøvning skal ses som en tilpasning til dels den lave besøgsfrekvens som bestøvere (ofte insekter) praktiserer, og dels de usikre forhold omkring vækstsæsonen længde og antallet varme dage, hvor blomsterne kan bestøves. Endelig har grønlandske blomsterplanter ikke selvforenelighedssystemer, som forhindrer selvbestøvning. Dette er meget almindeligt hos sydligere arter.

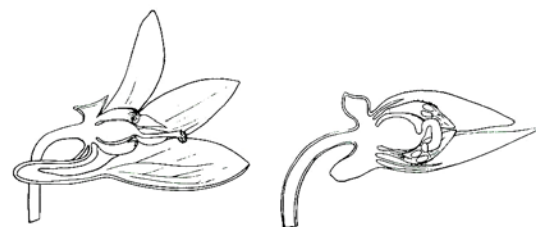
### Vegetativ formering

Edderkop-Stenbræk reproducerer sig ved en kombination af seksuel (åbne blomster) og aseksuel (vegetative udløbere og yngleknopper) reproduktion. Undersøgelser fra Thule-området viser, at en stor grad af aseksuel reproduktion fandt sted. Den høje grad af aseksuel reproduktion kan være et resultat af 1) lav bestøvningsfrekvens og aktivitet, 2) stor abortering af seksuelt produceret afkom eller 3) dårlig kvalitet af det seksuelt producerede afkom, ligesom økologiske faktorer, som temperatur og snesmeltning, kan spille ind. Under sådanne begrænsende forhold kan den aseksuelle reproduktion betragtes som en slags evolutionær sikringsmekanisme til at kunne producere afkom. Plantepopulationer som er i stand til at regulere fordelingen mellem seksuel og aseksuel reproduktion må alt andet lige være bedre rustet i tilfælde af ændrede klimaforhold.

### Kleistogami

En speciel form for selvbestøvning er kleistogami, selvbestøvning i lukkede blomster. Mange arktiske blomsterplanter laver små lukkede blomster som mest af alt ligner blomsterknopper. Da disse lukkede blomster aldrig åbnes sker der en selvbestøvning inde i dem og de udvikler sig herefter til en frøkapsel. Denne form for reproduktion praktiseres fx af flere viol-arter, se figur 4 og 5. Sneen beskytter i det tidlige forår planter mod udtørring. Samtidig virker sneen som en slags drivhus. Det betyder, at planterne kan starte vækst og forplantning i de lukkede blomster tidligt, da sollyset sagtens kan gå igennem snelaget. Produktionen af lukkede blomster starter derfor allerede under sneen, og giver arter som viol en fordel.

Hvad kan være grunden til denne produktion af lukkede blomster? Det kan forklares på flere måder. For det første kræver produktionen af kleistogame blomster mindre energi, og for det andet kan man sige, at i områder med mangel på bestøvere er det trods alt bedre at kunne praktisere selvbestøvning, og på den måde opbevare en frøproduktion i modsætning til slet ikke at kunne producere frø.



**Figur 5** Dal-Viol (*Viola selkirkii* Pursh ex Goldie). Tegning af gennemskåret åben blomst og lukket, kleistogam blomst. Omtegnet Briggs, D. & S. M. Walters (1984): Plant variation and evolution 2. Ed. Cambridge University Press. Oprindeligt fra MCLaren & Ivimey-Cook i Textbook of Theoretical Botany (1956). Longmans.

Men selvbestøvning har sin pris i form af ingen eller kun lille genetisk variation i afkommet. Ligesom vegetativ reproduktion som vi kender fra jordbær og Edderkop-Stenbræk (*Saxifraga platyse-pala*) i Grønland. De nye individer, der dannes, er identiske med moderplanten, da det alene er den almindelige celledeling (mitose) der er ansvarlig for reproduktionen.

### **Blomsterplanters formering i arktiske egne**

De fleste arktiske planter kombinerer vegetativ og kønnet formering. Den kønnede formering sker som oftest ved en eller anden form for selvbestøvning. Derved bevares de egenskaber i genotypen som allerede har vist sig at være egnede til at klare de arktiske levevilkår, samtidig med at lejlighedsvis fremmedbestøvning sikrer, at nye genotyper fremkommer i et langsomt tempo.

Vi kan måske betragte de lukkede blomster som en forplantningsmæssig tilpasning til de arktiske egne meget svingende klima og usikre bestøvningsforhold. For at modgå dette udvikler mange plantearter i Arktis flere forskellige måder at reproducere sig på: Selvbestøvning, vegetative udløbere, yngleknopper og apomiksi. Ved apomiksi er det frøene der indeholder det diploide antal kromosomer, og dermed er det en form for ukønnet formering, der har et meget større spredningspotentiale end når vegetative dele af planten fx i form af udløbere kun meget lokalt kan kolonisere nyt land. Frøspredning kan ske over store afstande såvel for frø dannet ved apomiksi og for frø, der er dannet ud fra kønnet formering. I arktiske egne er flerårige planter og vegetativ formering hyppig, og en vis genetisk stabilitet forekommer at være en fordel. Apomikte arter bevarer i højere grad gode arvelige egenskaber, men ulempen er en meget langsom evolution. Apomikte arter som mælkebøtte danner ægceller som indeholder samme kromosombesætning som plantens normale celler, derfor kræver den ikke befrugtning med pollen, og den udvikles direkte til frø. Apomiksi kombinerer derved fordelene ved ukønnet formering med fordelene ved frø: Med andre ord kombineres bevarelsen af veltilpassede genotyper med muligheden for spredning, og usikkerheden vedrørende antallet af bestøvere elimineres.

### **Krydsbestøvning - selvbestøvning**

Kønnet forplantning øger den arvelige variation, mens selvbestøvning reducerer den arvelige variation. Spørgsmålet er så, om de arktiske planter kan klare sig med mindre genetisk variation end deres slægtninge i tempererede egne? Hertil må man svare, at godt nok er mange grønlandske planter selvbestøvende, men en gang imellem sker der alligevel en krydsbestøvning, hvorved der dannes nye genetiske kombinationer i afkommets arvmasse. Disse få tilfælde af kønnet formering (fremmedbestøvning) er åbenbart tilstrækkelige til, at arterne kan overleve på lang sigt.

Efter selvbestøvning (i åbne eller lukkede blomster) dannes helt funktionsdygtige frø, som kan videreføre arter, på samme vis som ved fremmedbestøvning. Hos Dal-Viol er ca. 95 % af de modne frø fremkommet ved selvbestøvning i de lukkede blomster. Endvidere er antallet af frø fra de lukkede blomster signifikant større end fra de åbne krydsbestøvede blomster.

### Bestøvning

De åbne blomster hos Dal-Viol – hvis krone består af 5 kronblade – har tydelige saftmærker (figur 6). Blomsterne dufter og producerer honning. Karakterer som tilsigter fremmedbestøvning via insekter. Insekterne finder vej til blomsten og flytter pollen fra en plante til en anden.

De lukkedes blomsters krone er stærkt reduceret. Griffel og støvdragere er ganske korte, og de mødes automatisk, når den lukkede blomster er fuldt udviklet, således sikres det at pollen sættes på støvfanget, derved kan pollen vokse ned til frøanlæggene og der kan ske en befrugtning og en frøudvikling. (Figur 4).

### Genetisk variation kontra genetisk konstans - fordele og ulemper

I stabile miljøer hvor både de abiotiske og de biotiske forhold kun varierer lidt, kan en stor grad af genetisk ensartethed være en fordel. Dette kan netop opnås ved vegetativ reproduktion eller selvbestøvning. Den succesfulde genpulje kan på den måde favoriseres. Begge reproduktionsstrategier koster mindre energi end kønnet formering, og er derfor også en fordel i et barskt miljø, hvor energiinputtet kan være lavt. Men for der er nemlig et men, hver gang en plante selvbestøver, tabes halvdelen af den genetiske variation. I det lange løb reducerer indavl altså den genetiske variation. På den anden side giver indavl og vegetativ formering mulighed for at sprede succesfulde genotyper.

I ustabile miljøer hvor både de abiotiske og de biotiske faktorer varierer fra år til år, er den bedste overlevelseshætte strategi for populationen at have så stor og varieret en genpulje som muligt, for at modgå de uforudsigelige variationer i miljøet.

### Hvorfor lukkede blomster i Grønland?

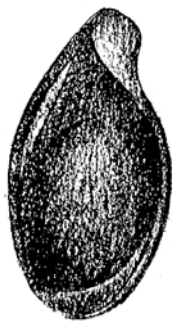
Der er flere grunde til at producere en større andel af lukkede blomster i Grønland. For det første er lukkede blomster mindre energikrævende at producere end de åbne blomster, hvor der bl.a. skal investeres i kronblade. Undersøgelser på Springbalsamin har således vist, at det koster næsten 100 gange mere energi at producere åbne blomster i forhold til lukkede kleistogame blomster.

For det andet kan produktionen af lukkede blomster opfattes som en evolutionær sikringsmekanisme i tilfælde af manglende eller



Figur 6 Dal-Viol (*Viola selkirkii* Pursh ex Goldie). Åben blomst. Foto: © Svend Erik Nielsen, 2012.





Figur 7 Elaiosom (myrelegeme) hos Dal-Viol. Tegnet af Ann-Britt Broström.

mislykket bestøvning i de åbne blomster. En lukket kleistogam blomst har tvungen selvbestøvning og kan ikke hindres i at producere frø som følge af manglende vind- eller insektbestøvning. Derfor kan en kombination af åbne og lukkende blomster være en måde at løse udfordringen med usikker bestøvning i arktiske områder, hvor tilstedeværelsen af bestøvende insekter kan variere meget - som det netop er tilfældet i Grønland.

For det tredje modvirker mange grønlandske planter de lave meget svingende temperaturer. Det gør de ved på forskellig måde at hæve temperaturen i planternes mest vitale dele for reproduktionen: blomster og knopper. Fx Fjeldvalmuen som er i stand til at bevæge blomsterne efter, hvor på himlen solen står. De kleistogame blomster holder på varmen idet de ikke påvirkes af kulde og vind på samme måde som de almindelige åbne blomster.

### Spredning

Dal-Viol findes i både Vestgrønland og Mellemsverige og er som mange andre viol-arter tilpasset myrespredning. På frøene sidder et lille olieholdigt vedhæng kaldet et elaiosom (se figur 7 og 8). Dette vedhæng indeholder æteriske olie som tiltrækker myrer. Myrerne bærer frøene til deres tue, hvor de æteriske olier fortæres. Derved spredes frøene fra moderplanten. Denne myrespredning er observeret i Mellemsverige, og ved laboratorieforsøg med frø fra de svenske planter. Imidlertid er myrerne ikke villige til at transportere frøene fra de grønlandske planter rundt i den kunstige myretue. Forklaringen på dette må være at indholdet af de æteriske olier er mindre i de grønlandske frø og derved er frøene ikke attraktive på samme måde som frøene fra de svenske planter. Og det giver god mening, når man holder oplysningen op mod, at der ikke er myrer i Grønland, og ikke har været det i mere end 3 millioner år.

Figur 8 Fotografi af elaiosom (myrelegeme) hos Marts-Viol. Billede: Creative Commons.



## **Klimaændringer og forplantning**

Hvordan vil klimaændringer påvirke planternes fænologi og udbredelse? For mere end 20 år siden blev Itex – det internationale tundra eksperiment – igangsat, for at vise om klimaets forandringer påvirker vegetationen generelt og specifikke arter specielt. En række undersøgelser foretaget på forskellige lokaliteter cirkumpolart blev iværksat, fx ved Arktisk Station ved Qeqertarsuaq i Vestgrønland og ved forskningsstation Zackenberg i Den Østgrønlandske Nationalpark.

Resultater har vist, at klimaændringerne påvirker plantesamfundene i Arktis, fordi planternes vækst og udbredelse i høj grad er betinget af snedækket og temperaturen. Det kan betyde, at klimaet og plantevæksten i Nordøstgrønland vil ændre sig fra at være højarktisk til at blive lavarktisk, hvilket vil betyde at reproduktionsstrategierne for planterne vil favoriseres anderledes, med et muligt artstab til følge.

### **Videre læsning:**

Born E. W og J. Böcher (red): Grønlands økologi. Atuakkiorfik Undervisning 1999. Grønlands økologi.

Nielsen, Svend E. og F. Ulbæk: Krydsbestøvning og selvbestøvning hos Dal-viol i Vestgrønland. Naturens Verdens 10/1991. S. 390-403.

Nielsen, Svend E.: Carlsbergfondet. Årsskrift 1992.

# Links

Klimalinks med biologisk relevans er der rigtigt mange af, og her følger links til rapporter og hjemmesider med biologisk relevant klimamateriale, som vi bl.a. har anvendt i forbindelse med skrivningen af dette hæfte. Det er ikke nemt at have links på tryk, for de kan ændre sig med dags varsel, og derfor er links'ene inddelt i et hovedlink til "forsiden" af en bestemt organisation eller publikation, herefter er der de søgeord, man kan anvende, hvis man vil google sig frem til et bestemt sted. Til sidst er der et dybt link direkte til, hvor materialet befinder sig. Vi er klar over at med tiden vil disse side have mistet sin aktualitet, men håber det vil finde anvendelse nu, og at holdbarheden af links'ene er større når Googles søgeord også angives. Meget af materialet er på engelsk.

## **Rapporter og materiale fra FN's klimapanel (IPCC)**

(<http://www.ipcc.ch/>)

Google søgeord: IPCC publications. Dybt link:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)

## **Rapporter og materiale fra Zackenberg** (<http://www.zackenberg.dk/>)

Google søgeord: zackenberg.dk publikationer

Dybt link: <http://www.zackenberg.dk/publications/general-information/>

## **Rapporter og materiale fra Nuuk Basic** (<http://www.nuuk-basic.dk/>)

Google søgeord: nuuk basic nero publications

Dybt link: <http://www.nuuk-basic.dk/publications/>

## **Rapporter og materiale fra ACIA** (<http://www.acia.uaf.edu/>)

Google søgeord: Arctic Climate Impact Assessment

## **Rapporter og materiale fra Nuuk Basic** (<http://www.nuuk-basic.dk/>)

Google søgeord: nuuk basic nero publications

Dybt link: <http://www.nuuk-basic.dk/publications/>

## **Rapporter og materiale fra Arktisk Råd** (<http://www.arctic-council.org/>)

Google søgeord: arctic council biodiversity

Dybe links: <http://www.arctic-council.org/index.php/en/biodiversity/aba2> &

<http://www.caff.is/assessments> (mange rapporter om forhold vedrørende arktisk biodiversitet).

## **Naturvidenskab for alle** (<http://www.nfa.fys.dk/>)

Google søgeord: naturvidenskab for alle

Direkte adgang til publikationer. 2 af interesse: "Klima" og "Iskerner". Dansk materiale.

**Aktuel Naturvidenskab** (<http://aktuelnaturvidenskab.dk/>):

Google søgeord: aktuel naturvidenskab. Dybe links:

<http://aktuelnaturvidenskab.dk/temanumre/klima-og-klimaaendringer/>

Liste over klimartikler: <http://aktuelnaturvidenskab.dk/klimaliste/>

**Alaska Geobotany Center** (<http://www.geobotany.org>)

En guldgrube af materiale om arktisk botanik

## Andre publikationer

---

### DMU

DMU er i omflytning til bl.a. Aarhus Universitet og derfor er det lidt rodet hvor følgende publikationer befinder sig, men man kan søge på dem via Google og finde dem endnu:

Miljøgifte i Grønland,

*Miljøbiblioteket* (Poul Johansen og Kirsten Rydahl (red.))

Klimaændringerne – menneskehedens hidtil største udfordring,

*Miljøbiblioteket* (Hans Meltofte (red.))

Minedrift og miljø i Grønland, *Temarapporter* (Poul Johansen)

*Sne, is og 35 graders kulde: Hvad er effekterne af klimaændringer i Nordøstgrønland* (Hans Meltofte)

*Faglig rapport 693: The NERO line.*

A vegetation transect in Kobbefjord, West Greenland

## Interaktive hjemmesider

---

**World Wildlife Fund (WWF)** – følg en isbjørn med GPS-sender på interaktivt kort (<http://polarbears.wwf.ca/tracker.html>)

Dybt link: <http://speciestracker.panda.org/species.php?s=1>

**NunaGIS** – kort over Grønland med interaktive miljøkort med udbredelse af forskellige store pattedyr

<http://www.nunagis.gl/da/>

**Havspejlsstigninger** (<http://flood.firetree.net/>)

Vælg område og zoom ind og vælg en mulig havspejlsstigning og se hvilken indflydelse det får på kystlinjen

# Kilder til figurer

Alle fotografier er krediteret opretshaveren i teksten. Alle tegninger er – når intet andet er nævnt – fremstillet af Jesper Ruggaard Mebus, som er copyrightindehaver. Til tegningerne er anvendt software SmartDraw 2012, som dermed har leveret og har copyright til mange af clipart på figurerne. Hvor der ikke er anvendt clipart fra SmartDraw 2012 er der anvendt clipart fra Creative Commons. I den sammenhæng figurerne er fremstillet, er de underlagt copyright.

## Baggrunden for at måle klimaforandringer i Arktis

Fig. i boks Egen figur.

Fig. 1 NASA (generel tilladelse til at gengive materiale).

Fig. 2 UN, IPCC (generel tilladelse til at gengive materiale).

Fig. 6 NASA Earth Observatory (generel tilladelse til at gengive materiale).

## Planter og dyrs tilpasninger

Fig. 1 Egen figur.

Fig. 2 Mortensen, I.H (2001): *The Ecology of Greenland*. Atuakkiorfik Education.

Fig. 6, 15, 16 & 17 Drummond AJ, Ashton B, Buxton S, Cheung M, Cooper A, Duran C, Field M, Heled J, Kearse M, Markowitz S, Moir R, Stones-Havas S, Sturrock S, Thierer T, Wilson A (2012) Geneious v5.6, Available from <http://www.geneious.com>

Fig. 7-9 Jesper Givskov Sørensen & Simon Bahrndorff: Kolde kræ, *Aktuel Naturvidenskab* 4/2008.

## Isbjørne på tynd is

Fig. 2-3 Indlejret kml-fil på Google Earth. Kilde: Born, Erik W. et. al. (1997): Bjørne ved et polynie. *Naturens Verden*. Vol. 3/1997.

Fig. 4 Knudsen, Jens (1995): Den indre varme. *Naturens Verden* vol. 10/1995, s. 389-400.

Fig. 5 & 6 Knudsen, Jens (1995): Den indre varme. *Naturens Verden* vol. 10/1995, s. 389-400.

Fig. 7 Knudsen, Jens (1995): Den indre varme. *Naturens Verden* vol. 10/1995, s. 389-400.

Fig. 8 & 9 Egen figurer (ChemSketch 12.0)

Fig.10 Bøgeskov, Jens et al: (1997): *Hjernen fra neuron til bevidsthed*. Nucleus.

Fig.11 Nordisk Råd: *Signs of Climate Change in Nordic Nature*. 2009.

## En arktisk bøvs af metan

Fig. 1 Forchhammer Mads C. et al. (2009): *Naturen og klimaændringerne i Nordøstgrønland*.

Fig. 3 Egen figur. Forskellige kilder.

Fig. 4 Foto: Svend Erik Nielsen (2012).

Fig. 6 Christensen, Torben Røjle (1996): Sumpgas, tundra og klima. *Naturens Verden* vol. 2/1996, s. 57-63.

## Miljøforurening i Arktis

Fig. 2 Egen figur.

Fig. 3 Egen figur. Forskellige kilder.

Fig. 4 P. Johansen og K. Rydahl: *Miljøgifte i Grønland*. Hovedland, 2007.

Fig. 6 Mortensen, I.H (2001): *The Ecology of Greenland*. Atuakkiorfik Education.

## Planternes digitale fingeraftryk

Fig. 1-3 Egen figurer.

Fig. 6-7 Egen figurer. Fra Google Earth 6.0

Fig. 4 P. Johansen og K. Rydahl: *Miljøgifte i Grønland*. Hovedland, 2007.

Fig. 6 Mortensen, I.H (red) (2001): *The Ecology of Greenland*. Atuakkiorfik Education.

Fig. 9 Nuuk Ecological Research Operations 4th Annual Report 2010.

Fig.10 Tamstorf, M. P, L. Illeris, B. U. Hansen and M. Wisz (2007): *BMC Ecology*, 7:9: Spectral measures and mixed models as valuable tools for investigating controls on land surface phenology in high arctic Greenland.

## Livet ved iskanten

Fig. 1 Cornelius Grenvald, Julie, M. Hjorth, L. Reeh og T. Gissel Nielsen.: Olie i Arktis. *Aktuel naturvidenskab* 3/2012.

Fig. 2 Mortensen, I.H (red) (2001): *The Ecology of Greenland*. Atuakkiorfik Education.

Fig. 3 Arctic Research. ICARP II. Science Plan 3: Arctic Coastal Processes p. 14. [www.icarp.dk](http://www.icarp.dk)

Fig. 4 Egen figur.

Fig. 5 Egen figur. Anvendt Google Earth 6.0.

Fig. 6 Rysgaard Søren, Mikael K. Sejr, Peter Bondo Christensen, Erik W. Born og Ronnie N. Glud: Det marine miljø. *Naturen og klimaændringerne i Nordøstgrønland* (Red: Forchhammer, M. C. et al) Aarhus Universitetsforlag 2009.

Fig. 7 Mouritsen, Lone Thybo: Oceanernes betydning for vores klima. *Naturens Verden* 1/2008.

## Vegetationens tilpasninger til arktisk og subarktisk klima

Fig. 1 Egen figurer. Fra Google Earth 6.0 overlejet med en kml-fil. Data fra Hallanaro, E-L. & M. Pylvänäinen: Nature in Northern Europe. Biodiversity in a changing environment. Nordic Council of ministers. 2002.

Fig. 3 Data fra <http://www.wetterzentrale.de/>

Fig. 4 Data fra Robert J. List, *Smithsonian Institution: Smithsonian Meteorological Tables*. Smithsonian Institution Press. 1984.

Fig. 5 Lévêque, C. & J-C. Mounolou: *Biodiversity*. John Wiley & Sons. 2003.

Fig. 6 Wikipedia Commons.

Fig. 7-9 Mortensen, I.H (2001): *The Ecology of Greenland*. Atuakkiorfik Education.

## Reproduktionsstrategier

Fig. 5 Gentegnet fra Briggs, D. & S. M. Walters (1984): *Plant Variation and Evolution* 2. Ed. Cambridge University Press. Oprindeligt fra McLaren & Ivimey-Cook i *Textbook of Theoretical Botany* (1956). Longmans.

Fig. 7 Tegning af Ann-Britt Broström.

Fig. 8 Creative commons (må deles – ingen copyright)



Afsender: \_\_\_\_\_

Biofag  
% Nucleus Forlag ApS  
Lundingsgade 33  
8000 Århus C

ISBN: 978-87-995861-0-3

