

41/2002

TEMA-rapport fra DMU



Sne, is og 35 graders kulde
Hvad er effekterne af
klimaændringer i Nordøstgrønland?



Sne, is og 35 graders kulde

Hvad er effekterne af klimaændringer i Nordøstgrønland?

Hans Meltofte
(red.)

TEMA-rapport fra DMU, 41/2002

Sne, is og 35 graders kulde. Hvad er effekterne af klimaændringer i Nordøstgrønland?

Redaktion: Hans Meltofte

Pædagogisk redaktion: Kirsten Rydahl

Forfattere: Christian Bay, Thomas B. Berg, Kirsten Christoffersen, Mads C. Forchhammer, Louise Grøndahl, Erik Jeppesen, Sidsel Larsen, Hans Meltofte, Per Mølgaard, Niels Martin Schmidt, Henrik Søgaard og Mikkel P. Tamstorf

Udgiver: Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser©

Hjemmeside: www.dmu.dk

Udgivelsestidspunkt: April 2002

Miljøstyrelsen har ydet økonomisk støtte til udgivelsen af denne rapport gennem programmet Miljøstøtte til Arktis (bevilling nr. 123/001-0276). Forfatterne er alene ansvarlige for resultater og konklusioner der præsenteres i denne rapport, og disse reflekterer ikke nødvendigvis Miljøstyrelsens holdning.

Layout, illustrationer og produktion: Britta Munter, Grafisk Værksted, DMU, Roskilde

Omslagsfoto: Underlagsfoto: Niels Martin Schmidt, øvrige fotos: Rypelyng, vadefugl og sommerfugl – Biofoto/ Erik Thomsen, måleapparat – DMU/Hans Meltofte

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Tryk: Scanprint as, ISO 14001 miljøcertificeret, EMAS miljøregistreret DK-S-0015, ISO 9002 kvalitetsgodkendt.

Trykfarver: Vegetabiliske uden opløsningsmidler.

Omslag lakeret med vandbaseret, vegetabilisk lak. Papir: Cyclus Print, 100% genbrugspapir



Sidetæl: 88

Oplag: 1.500

ISSN (trykt): 0909-8704

ISSN (elektronisk): 1399-4999

ISBN: 87-7772-663-4

Pris: 80,- kr. Klassesæt á 10 stk: 600,- kr. Abonnement (5 numre): 225,- kr.

(Alle priser er incl. 25 % moms, excl. forsendelse)

Rapporten kan også findes som PDF-fil på DMU's hjemmeside.

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser

Frederiksborgvej 399

Postboks 358

4000 Roskilde

Tel: 4630 1200

Fax: 4630 1114

E-mail: dmu@dmu.dk

Hjemmeside: www.dmu.dk

Miljøbutikken

Information & bøger

Læderstræde 1-3

1201 København K

Tel: 3395 4000

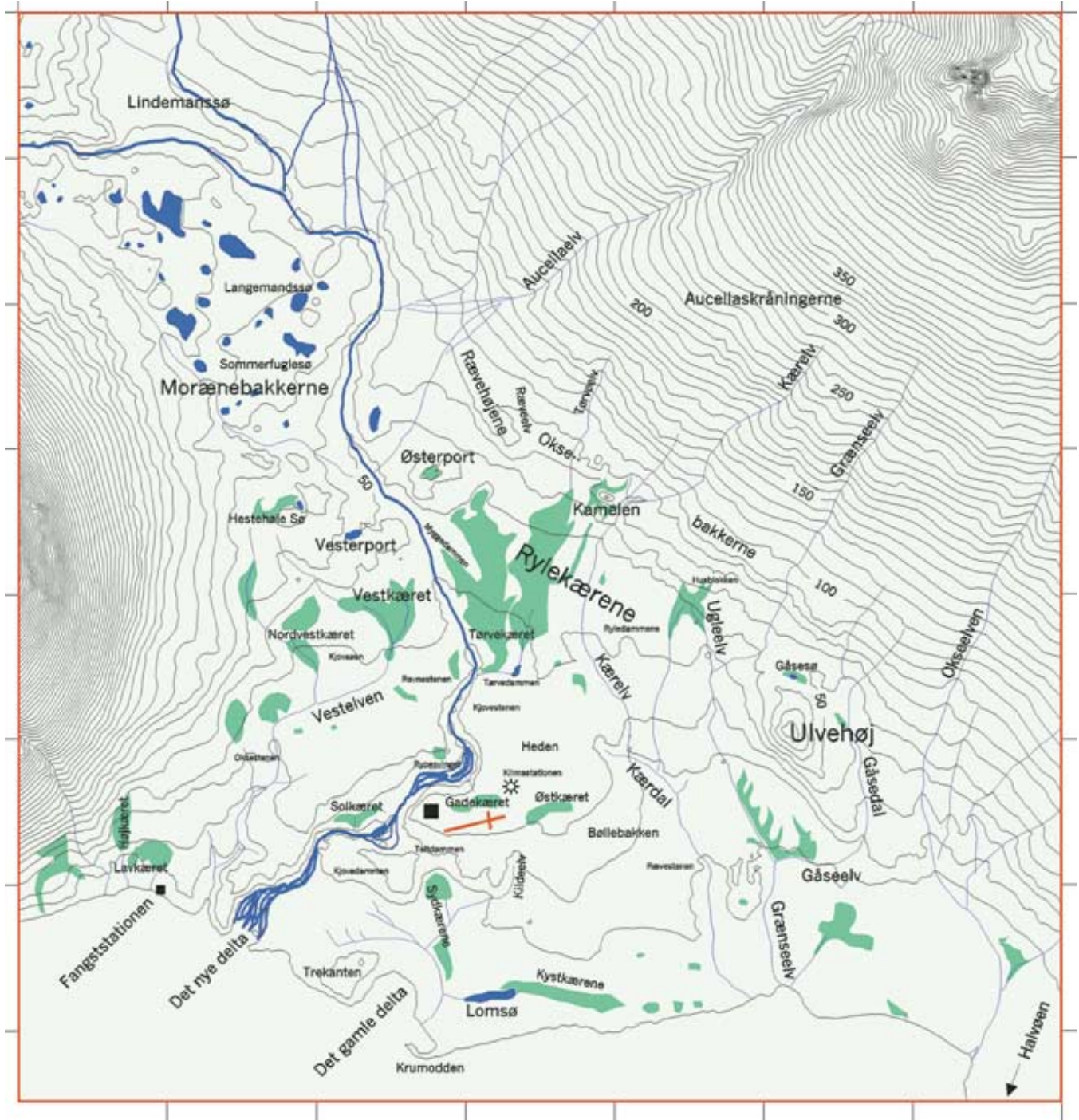
Fax: 3392 7690

E-mail: butik@mem.dk

Hjemmeside: www.mem.dk/butik

Indhold

5	Forord: Stort klimaprojekt i Nordøstgrønland
7	Kapitel 1: Zackenberg – en miljøovervågnings- og forskningsstation i højarktisk Grønland
15	Kapitel 2: Analyser og modeller i relation til forandringer i klimaet
25	Kapitel 3: Udsigt til mere snerige vintre og mere fugtige somre?
29	Kapitel 4: Optager eller afgiver tundraen kultveilte?
35	Kapitel 5: Snedækket bestemmer plantesamfundenes udbredelse og produktion
43	Kapitel 6: Blomsterne må vente på at sneen smelter og på varmen
47	Kapitel 7: Insekter og edderkopper reagerer hurtigt på ændringer i klimaet
53	Kapitel 8: "Tropiske" vadefugle i is og sne
61	Kapitel 9: Op- og nedture for tundraens lemminger
67	Kapitel 10: Moskusokserne i Zackenbergdalen påvirkes af snemængde og plantevækst
73	Kapitel 11: Prædatorerne i højarktisk Grønland foretrækker lemminger
79	Kapitel 12: Isdækkets varighed har stor indflydelse på livet i søerne
85	Ordlister og supplerende litteratur
87	Tidligere Temarapporter
88	Danmarks Miljøundersøgelser



Forord

Stort klimaprojekt i Nordøstgrønland

En langsigtet overvågning af miljø og natur samt en lang række forskningsprojekter skal hjælpe os til at få bedre kendskab til effekterne af klimaændringer i Nordøstgrønland. Det gælder både de naturlige klimasvingninger som altid er foregået, og den forventede menneskeskabte temperaturstigning som forventes at blive særlig udtalt i Arktis. Klimaændringerne i den særlige højarktiske zone kan blive så omfattende at store dele af denne zone forsvinder inklusive det unikke plante- og dyreliv der findes her.

Vores del af arbejdet – det biologiske overvågningsprogram "BioBasis" – følger udviklingen blandt planter og dyr i et stort undersøgelsesområde ved Zackenberg Forskningsstation i det centrale Nordøstgrønland. Overvågningen omfatter her registreringer år ud og år ind af de samme forhold i naturen. I vores arbejde er det alt fra udvekslingen af kultveilte mellem tundraen og atmosfæren til antallet af moskusokser der udnytter undersøgelsesområdet.

Men BioBasis er meget mere end naturovervågning. Sammen med andre overvågningsprogrammer og forskningsprojekter i området håber vi ikke alene at kunne svare på hvad der sker, men også hvad der vil ske i forskellige dele af Arktis. Vi bruger såkaldt integreret overvågning til at få styr på hvad der sker med de enkelte planter og dyr i undersøgelsesområdet og hvorfor. Integreret overvågning betyder i praksis at vi har "sensorer" inde så mange steder i økosystemet at vi kan måle mange ting samtidig. Det gør os i stand til at opbygge modeller for hvordan klimaeffekter på én organisme kan brede sig til hele økosystemet. Ved hjælp af den viden vil vi kunne opbygge modeller for hvordan økosystemet fungerer og i sidste ende forudsige hvordan forskellige arktiske områder vil reagere på de forventede klimaændringer.

Temaraapporten består af tre indledende kapitler der "sætter scenen" for hele projektet og dets muligheder. Derefter følger en række "case-stories" hvor vi behandler udvalgte elementer i økosystemet ud fra de 6-7 års data vi har indsamlet indtil nu. Det er ikke altid lige let læsning! Vi har prøvet at skrive så let forståeligt som muligt, men sværhedsgraden svinger meget fra kapitel til kapitel. Til sidst i hvert kapitel har vi forsøgt at sammenfatte hvad vi med alle mulige forbehold mener at kunne sige allerede nu om hvilken retning forholdene for planter og dyr vil udvikle sig, såfremt klimaet ændrer sig som forudsagt.

I denne rapport koncentrerer vi os om den terrestriske økologi – dvs. den på land. Et tilsvarende arbejde beskæftiger sig med de processer der foregår i landskabet – permafrost, iskiler, jordflydning, vandkemi, sedimenttransport i elvene osv. Endelig beskæftiger et stort forskningsprogram sig med hvad der foregår i det marine miljø i området.

Det terrestrisk-biologiske overvågningsprogram BioBasis har alle årene været finansieret af den danske regerings arktiske miljøprogram, Dancea, under Miljøstyrelsen. Siden 1998 har programmet været udført af Danmarks Miljøundersøgelses Afdeling for Arktisk Miljø.

BioBasis er et af Danmarks bidrag til det internationale klimaprogram under "Arctic Environmental Protection Strategy" hvor delprogrammerne "Arctic Monitoring and Assessment Programme" og "Conservation of Arctic Flora and Fauna" tager sig af hhv. miljøovervågningen og forvaltningen af de levende ressourcer.

Ib Johnsen, Peter J. Aastrup og Annelise Holstebro takkes for kritisk gennemlæsning af manuskripterne.

Også tak til Hadley Centre for Climate Prediction and Research og American Meteorological Society for tilladelse til reproduktion af illustrationerne hhv. til figur 1 og boks 2.

En ordforklaring findes bagerst i rapporten.

Kort over Zackenbergdalen med Zackenberg Forskningsstation (det røde kors angiver landingsbanen ved stationen). Særligt frodige kær er angivet med grønt. Zackenberg-fjeldet der er det stejle fjeld vest for Zackenbergdalen, har navn efter dets takkede kam. Navnet blev givet af den første overvintrende ekspedition i Nordøstgrønland, Koldewey-ekspeditionen i 1869-70, efter et tilsvarende fjeld i Tyrol. Der er 1 km mellem markørerne på kortets kanter.



"Hjertet" i natur- og miljøovervågningen i Zackenberg er en avanceret automatisk klimastation som året rundt registrerer en lang række vejrparametre samt ind- og udstråling, snetykkelse, temperaturer i jorden m.v.

Zackenbergl – en miljøovervågnings- og forskningsstation i højarktisk Grønland¹⁾

Foto: DMU/Hans Meltofte



Kapitel 1

Zackenbergdalen hvor forskningsstationen er placeret, er et relativt fladt område på 15-20 km² omgivet af fjeldskrånninger mod vest og nordøst og af Young Sund mod syd. Dalen har udstrakte fjeldheder, kærømråder og adskillige damme og søer samt tørre grusplateauer og -skrånninger der er snefrie hele vinteren.

¹⁾ Se boks 1 på side 12

Af Hans Meltofte, Afdeling for Arktisk Miljø,
Danmarks Miljøundersøgelser

På en ny forskningsstation ved Zackenberg i det centrale Nordøstgrønland skal forskerne forsøge at udrede hvilke effekter fremtidige klimænderinger kan få, hvadenten de er resultatet af naturlige svingninger eller forårsaget af den menneskeskabte drivhuseffekt. Foruden en lang række forskningsprojekter kører der her en løbende overvågning – eller monitorering – af en mængde planter og dyr samt mange fysiske og kemiske forhold der tilsammen skal dokumentere udviklingen og påvise årsagerne til eventuelle ændringer i økosystemet.

Jorden bliver varmere

De arktiske egne har altid været udsat for markante klimasvingninger. Ikke blot har en række istider hver på omkring 100.000 år domineret Arktis i hele kvartærtiden, men klimaet har både under og mellem de lange nedisninger svinget betydeligt over længere og kortere perioder (se boks 2). I løbet af 1900-tallet er der imidlertid kommet endnu en faktor ind i billedet: Den mulige menneskelige indflydelse på Jordens klima.

Jordens temperatur er ikke alene et resultat af den kortbølgede indstråling den modtager fra Solen. Jorden afgiver selv varme, dels i form af varmeoverførsel til luften, dels i form af langbølget udstråling til verdensrummet. Men oven i dette kommer at en del af Jordens langbølgede udstråling bliver opfanget af kultveilte og andre drivhusgasser i atmosfæren. De seneste 150 års stadigt stigende afbrænding af enorme mængder fossile brændstoffer – kul, olie og gas – har imidlertid øget at-

mosfærens indhold af kultveilte så meget at en større del af Jordens udstråling bliver opfanget. Resultatet er at Jorden er blevet varmere – nemlig $0,6^{\circ}\text{C}$ i løbet af de sidste 100 år. Der er stadig uenighed blandt forskerne om hvor stor en del af temperaturstigningen der skyldes menneskelige aktiviteter, men der er stigende enighed om at de har en del af ansvaret. Resten af klimasvingningerne skyldes bl.a. variation i den stråling Jorden modtager fra Solen.

Arktis mest udsat

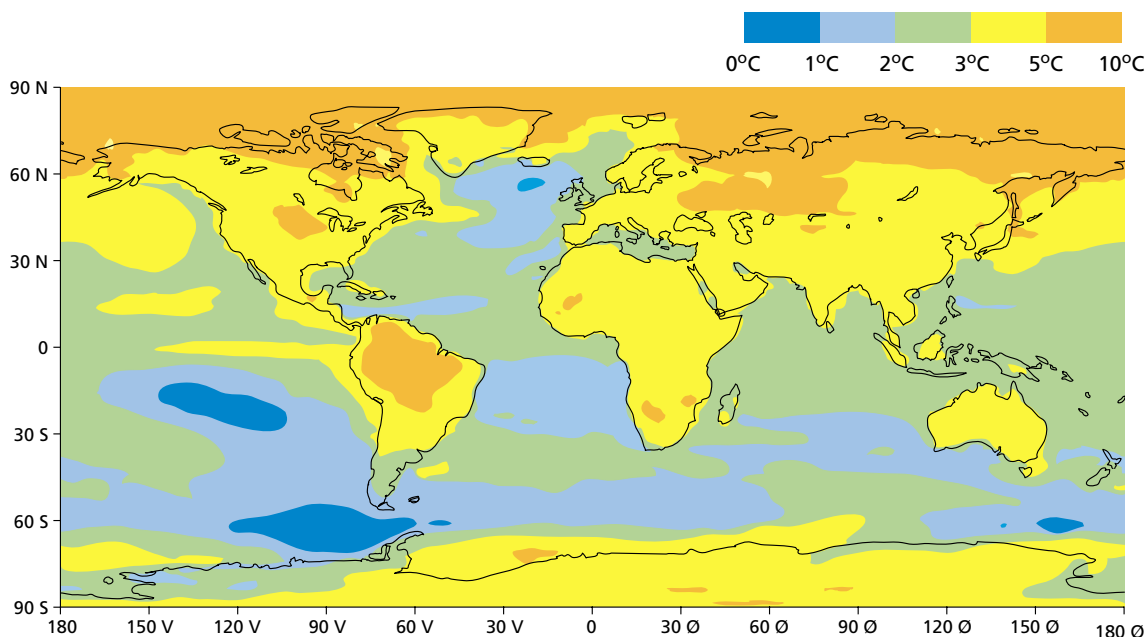
FN's klimapanel har forudsagt at Jordens middeltemperatur med stor sandsynlighed vil stige yderligere $2-3,5^{\circ}\text{C}$ i løbet af de næste 100 år, såfremt der ikke bliver gjort noget radikalt for at begrænse udslippene af drivhusgasser. Men denne temperaturstigning vil ikke være ligeligt fordelt på jordkloden. Temperaturen i store dele af Arktis vil sandsynligvis stige mere end 5°C (figur 1), og temperaturstigningen forventes at ske hurtigere end det er sket un-

der tidligere perioder med store ændringer. Den største temperaturstigning i Arktis vil sikkert ske om vinteren, og klimaforskerne forventer mere nedbør i form af sne samt flere tøvejrperioder med oversisninger til følge.

Det er muligt at en temperaturstigning i flere henseender vil være en fordel for de mennesker der lever i de lavarktiske områder, men i Højarktis vil mildere vintre og mere nedbør ændre radikalt på levevilkårene for en lang række dyr og planter (se boks 1). Det er endda muligt at store dele af den højarktiske zone bliver lavarktisk, så den højarktiske flora og fauna forsvinder.

Dertil kommer den nedbrydning af stratosfærens ozonlag som er forårsaget af udslippet af CFC- og andre ozonnedbrydende gasser. Det har forårsaget betydelige huller i ozonlaget over polerne i det sidste ti-år. Hullerne i ozonlaget giver den ultraviolette stråling fri adgang til Jorden, og denne stråling er skadelig for en række organismer herunder mennesker.

Figur 1
I følge klimatologernes model for hvordan de globale gennemsnitstemperaturer vil udvikle sig i løbet af de næste 75 år, vil temperaturerne i Arktis stige med over 5°C . (Efter Hadley Centre).



Natur- og miljøovervågning

Allerede i slutningen af 1800-tallet påbegyndte forskere standardiserede registreringer af især dyr og planter flere steder i den industrialiserede verden. Man ønskede indsigt i hvordan forekomsterne ændrede sig over tid, bl.a. som følge af forskellige menneskelige aktiviteter. I dag foregår der såkaldt natur- og miljøovervågning af næsten alt mellem himmel og jord på utallige lokaliteter i størstedelen af verden, men der sker naturligt nok mest i de rigeste og tættest befolkede lande. Vi skal således nok få masser af oplysninger om, hvad klimaændringerne vil betyde i form af tørke, skovbrande, ekstreme vejr-situationer og stigende havniveau – eller omvendt bedre dyrkningsbetingelser i nogle dele af verden.

I de tyndt befolkede eller helt ubeboede områder, såsom Arktis, foregår der derimod meget lidt overvågning. Ikke alene er tætheden af vejrstationer i Arktis kun en brøkdel af hvad den er i resten af ver-

den, men natur- og miljøovervågningen er endnu tyndere – og det altså på trods af at det netop er her man må forvente de største klimaændringer.

Zackenberg Ecological Research Operations – ZERO

Det er indlysende at det er overordentlig vigtigt at overvåge effekterne af klimaændringer i områder hvor landbrug og mange andre menneskelige livsbetingelser kan blive påvirket. I de senere år er der dog etableret et lille antal natur- og miljøovervågningsprogrammer i de arktiske lande for i det mindste at have nogle få målepunkter i Arktis. Et af de mest omfattende overvågningsprogrammer startede i 1995 ved Zackenberg i den centrale del af Nordøstgrønland.

Zackenberg er en kombineret forsknings- og miljøovervågningsstation der har til formål at skaffe indsigt i et højarktisk økosystems status og dynamik i "år nul" inden den forudsagte globale opvarm-

ning for alvor slår igennem – og siden følge udviklingen parallelt med kommende små som store klimaændringer. Zackenberg blev valgt fordi området rummer en usædvanlig mangfoldighed af naturtyper, planter og dyr, og fordi området ligger i en overgangszone mellem meget tørre og lidt frodigere egne. Vi kan derfor forvente at plante- og dyrelivet reagerer kraftigt på klimaændringer. Endelig var der her mulighed for at anlægge en landingsbane.

Stationen er basis for tre natur- og miljøovervågningsprogrammer – såkaldt monitoring – samt et skiftende antal forskningsprojekter der alle arbejder med at skaffe indsigt i hvilke faktorer der påvirker økosystemets funktion og dynamik. Vi registrerer løbende en lang række meteorologiske parametre, ind- og udstråling, udvaskningen af sediment og mineraler, kulstoffrigivelse og -optag, sne- og isdække samt afsmeltning, sammensætning og udbredelse af plantesamfundene, forekomst af insekter og andre leddyr, bestandene af fugle



Foto: DMU/Hans Møltorpe

I det centrale Nordøstgrønland er der midnatssol fra sidst i april til midt i august. Til gengæld er solen permanent under horisonten fra sidst i oktober til midt i februar, og nordlys kan ses døgnet rundt. På den tid af året holder lemminger og hermeline sig under det beskyttende snedække, mens moskusokser, polarræve og ryper må klare sig i 20-40 graders kulde.

og pattedyr – og meget andet (se tabel 1). Sideløbende forskningsprojekter søger dybere indsigt i samspillet mellem disse elementer, så årsagssammenhænge mellem ændringer i f.eks. snedække og plante-samfund bliver belyst.

Før Zackenberg Forskningsstation blev etableret eksisterede kun yderst sporadisk viden om disse forhold i højarktisk Grønland – eller for den sags skyld i store dele af resten af Arktis. Der var efterhånden god viden om forekomst og udbredelse af de fleste naturtyper, dyr og planter, men kun meget begrænset viden om år til år variationen i de forskellige dyr og planters overlevelse og reproduktion.

BioBasis

De tre monitoringsprogrammer – KlimaBasis, GeoBasis og BioBasis – dækker hver sin del af økosystemet ved Zackenberg, og udgør således et samlet tværfagligt over-

vågningsprogram. KlimaBasis består af en automatisk vejrstation samt en hydrometrisk station, der måler vandføringen i Zackenbergelven. GeoBasis registrerer en lang række landskabsprocesser herunder tykkelse og vandkemi i aktivlaget ovenpå permafrosten, der her er flere hundrede meter tyk.

Denne temarapport behandler de første resultater af BioBasis. Dette program forsøger at følge ændringerne i et bredt udvalg af de plante- og dyresamfund der er karakteristiske for højarktisk Grønland. Vi fokuserer på år til år variation og langsigtede ændringer i bestande, årscyklus, vækst, overlevelse og reproduktion hos en lang række planter, leddyr, fugle og pattedyr. Ved at have oplysninger om så mange led i fødekæderne som muligt kan vi analysere hvordan ændringer i et led i fødekæden påvirker de andre led – såkaldt integreret naturovervågning – og herefter

opbygge modeller for hvordan store dele af økosystemet fungerer (se kapitel 2). På denne måde håber vi at blive i stand til at forudsige hvad der vil ske, hvis klimamodellernes forudsigelser er korrekte – at der vil blive varmere og mere nedbørsrigt i højarktisk Grønland – og i andre tilsvarende dele af Arktis.

Det er ikke alle de parametre BioBasis monitorer der behandles i denne temarapport. Vi har valgt at præsentere nogle af de væsentligste forhold som eksempler på hvad programmet dækker af de mere markante plante- og dyresamfund. Der er en detaljeret beskrivelse af programmet, dets baggrund, manualer og databaser på Danmarks Miljøundersøgelsers hjemmeside: <http://biobasis.dmu.dk>.

Ved Zackenberg begynder det så småt at tø sidst i maj, men snesmeltningen kommer først rigtig i gang i løbet af juni. Fra da af er temperaturen for det mest over 0 indtil sidst i august eller først i september, hvor der kommer nysne i fjeldene og småsøer og damme fryser til om natten. Fuldmåne sidst i august.



Foto: DMU/Hans Meltøfte

Element	Antal arter	Antal felter	Hypighed af registreringerne	Antal variable pr. felt
Vegetation				
Reproduktiv fænologi	6	25	Ugentligt	4
NDVI (vegetationens "grønhed")	-	25	Ugentligt	2
Antal blomster	7	29	Årligt	1
Bærproduktion	3	3	Årligt	1
Plantesamfund langs en 8,8 km transekt	100	128	Hvert 5. år	15
Plantesamfund i felter	100	9	Hvert 5. år	75
Lav-samfund	50	41	Hvert 5. år	45
NDVI (fra satellitfotos)	-	13	Årligt	13
Plantesamfundenes udbredelse (fra satellitfotos)	9	1	Hvert 5. år	9
CO ₂ - og vanddampflux fra halvtør tundra	-	1	21 gange/sek.	2
Leddyr				
Leddyrforekomst og -fænologi	40 ¹	6	Ugentligt	80
Inseksprædation på blomster	3	12	Ugentligt	2
Fugle				
Bestandstætheder	16	5	Årligt	16
Reproduktiv fænologi	5	1	Årligt	10
Klækningssucces	5	1	Årligt	5
Ungeproduktion	5	1	15 gange/år	5
Generel forekomst af arter	30	1	Dagligt	50
Pattedyr				
Lemming vinter- og sommerbestand	1	1	Årligt	8
Moskusokseforekomst og -demografi	1	20	Dagligt/ugentligt	9
Moskusoksekadavere	1	3	Årligt	3
Polarræveforekomst og -reproduktion	1	1	Hver 2. uge	15
Forekomst af sæler på fjordisen	1	1	Dagligt	1
Generel forekomst af arter	6	1	Dagligt	12
Søflora and fauna				
Vandkemi	-	2	3 gange/år	8
Planteplankton	9	2	3 gange/år	9
Dyreplankton	7	2	Årligt	10
Fiskebestande	1	2	Hvert 5. år	
Abiotiske parametre				
Mikroklimatemperaturer i studiefelter	-	21	12 gange/dag	2
Snedække og snesmeltning i studiefelter	-	35	Ugentligt	1
Forårssnedække (fra satellitfotos)	-	13	Årligt	1
Ismeltning på damme etc.	-	10	Dagligt	1
Forstyrrelser etc.				
Manddage etc. i studiefelterne	-	4	Dagligt	3
Flyoperationer i og over studiefelterne	-	1	Dagligt	6
Manipulativ forskning og indsamling af organismer	-	-	Årligt	-
Spildevand etc.	-	-	Årligt	-

Tabel 1

Skema med de vigtigste elementer der overvåges via monitoringsprogrammet BioBasis.

Antal variable angiver hvor mange forskellige delelementer der indgår for hver art eller felt. Feks. giver forløbet af blomstring, visnen af blomsterne og modne frø tre variable for en blomsterart.

1) De indsamlede leddyrlister sorteres generelt kun til familie-niveau. Mange flere arter er involveret og kan sorteres ud.

Boks 1

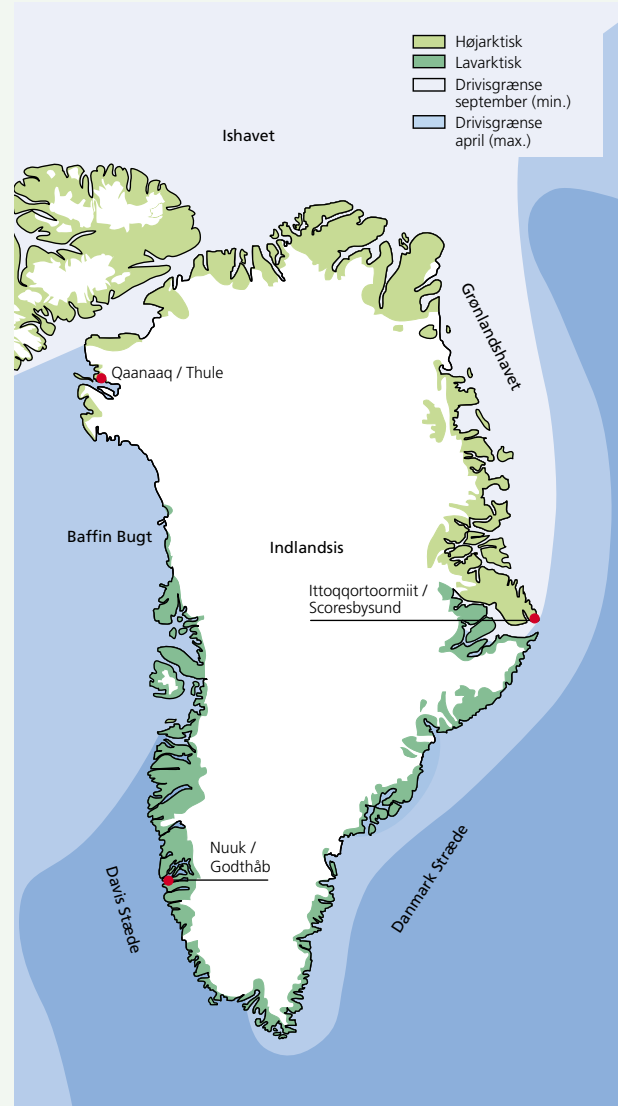
Hvad er Højarktisk?

Vi kender alle de træløse, arktiske områder i Sibirien, Alaska, Canada og Grønland som kolde egne med et tykt lag sne om vinteren, drivende ismasser i havet og korte, hektiske somre med masser af blomster og myg. Hovedparten af disse områder er lavarktiske hvorimod hele Nord- og Nordøstgrønland, de nordligste canadiske øer og det nordligste af Taimyrhalvøen i Sibirien er højarktisk. Her er forholdene i mange henseender meget anderledes og mere ekstreme end i de lavarktiske egne.

Arktis defineres oftest som områder med en middeltemperatur på mindre end $+10^{\circ}\text{C}$ i den varmeste måned – hvilket stort set svarer til trægrænsen – og grænsen mellem Lav- og Højarktisk tilsvarende ved $+5^{\circ}\text{C}$ for juli. Højarktisk er altså i gennemsnit væsentligt koldere end Lavarktisk, men hvad vigtigere er, så er der meget mindre sne i Højarktisk end i Lavarktisk. Faktisk er der ørkenagtigt klima i store dele af Højarktisk, og meget af landet er ofte snefrit vinteren igennem. Mængden af nedbør falder således mod nord i Grønland. I verdens nordligste landområde – Peary Land – er nedbøren mindre end 10% af hvad den er i Sydgrønland der har over 2 m nedbør om året. Derudover er vintrene meget mere stabile i Højarktisk for det meste med næsten uafbrudt hård frost fra september til maj, hvorimod der oftere er tøvejsperioder i lavarktisk Grønland.

Disse forhold har stor betydning for forekomsten af dyr og planter. Således er der mærkeligt nok flere arter af pattedyr og fugle på tundraen og fjeldhederne i højarktisk Grønland end i de lavarktiske egne. Det hænger sammen med de mere stabile vintre, det mere begrænsede snedække og den ekstremt lave vegetation.

Klimaet i højarktisk Grønland er således kontinentalt, dvs. relativt lidt påvirket af havet. Det skyldes at havet ud for Nord- og Nordøstgrønland er dækket af et flere hundrede kilometer bredt bælte af tæt pakis det meste af året. Det "forlænger" så at sige landet langt til havs, så klimaet bliver som inde på et kontinent. Det siger sig selv at ændringer i dette isdække har helt afgørende betydning for livsbetingelserne på land – og isdækket ændrer sig netop i disse år (se boks 2).

**Figur A**

Fordelingen mellem lav- og højarktiske områder i Grønland samt udbredelsen af drivis langs kysterne. Det ses hvordan det højarktiske område går længst mod syd i Østgrønland som følge af den isfyldte Østgrønlandske Strøm.

(Efter F. Salomonsen, Grønlands Fauna, og C. Berthelsen m.fl., Greenland Atlas.)

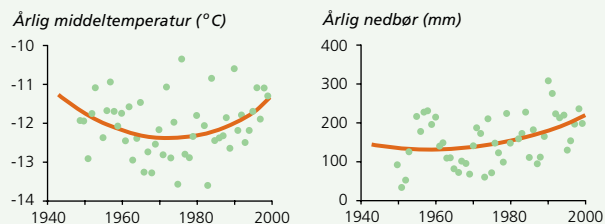
Boks 2

Klimaet i Nordøstgrønland ændrer sig – og det har det altid gjort

I dag lever alle grønlandere i den lavarktiske del af landet – eller sydligst i den højarktiske del i Qaanaaq/Thule og Ittoqqortoormiit/Scoresbysund. Der har imidlertid levet inuit i højarktisk Grønland i mere end 4.000 år, men da de første europæiske ekspeditioner overvintrede sidst i 1800-tallet var den oprindelige befolkning uddød. 50 år tidligere mødte opdagelsesrejsende og hvalfangere for første og sidste gang en lille gruppe inuit. De forsvandt imidlertid på samme måde som flere tidligere inuk-kulturer var forsvundet før dem. Årsagen var givetvis hver gang ugunstige klimaperioder hvor fangsten svigtede, så menneskene døde af sult. På samme måde uddøde rensdyrene i næsten hele højarktisk Grønland omkring år 1900, og moskusoksebestanden er flere gange gået kraftigt tilbage i store områder formentlig på grund af voldsomme snemængder eller overisning.

Først i løbet af 1900-tallet blev Nord- og Nordøstgrønland kortlagt og videnskabeligt undersøgt, og først efter 2. Verdenskrig blev der etableret permanente vejrstationer i området. Målingerne fra disse stationer samt fra tilsvarende stationer i resten af Arktis viser at der også er sket ganske markante ændringer i klimaet i løbet af de seneste 50 år. I Nordøstgrønland var der en køligere og mere nedbørsfattig periode omkring 1970, hvorimod både temperaturerne og nedbøren siden er steget (figur A). Det svarer godt til analyser af klimaet i hele Arktis som viser en udvikling mod mildere klima i de seneste årtier, med undtagelse af dele af Alaska, Canada og Vestgrønland hvor det er blevet koldere om efteråret og vinteren (se figur B).

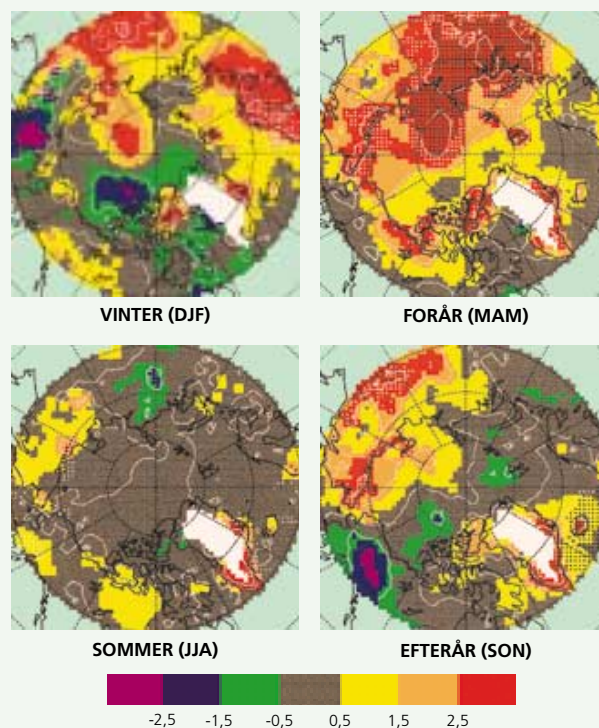
Det mere milde og fugtige klima i Nordøstgrønland (figur B) kan hænge sammen med ændringer i pakisens udbredelse. Langt hovedparten af udstømningen af koldt vand og dermed is fra Polhavet sker via Den Østgrønlandske Strøm og Storisen der løber ned langs Grønlands østkyst. Mængden og udbredelsen af denne is er reduceret i løbet af de seneste årtier, og klimaet på land er derfor blevet mindre kontinentalt. Storisens bevægelser og udbredelse og dermed vinterklimaet på land, er overordnet styret af et stort atmosfærisk system – den Nordatlantiske Oscillation (NAO). Svingninger i NAO påvirker nemlig både ændringer i vindforhold og havstrømme (se boks 3).



Figur A

I Nordøstgrønland er både middeltemperaturen og mængden af nedbør steget i de sidste årtier.

(Data fra Danmarkshavn Vejrstation 280 km nord for Zackenberg 1949-1999 leveret af Danmarks Meteorologiske Institut og analyseret af Mads C. Forchhammer).



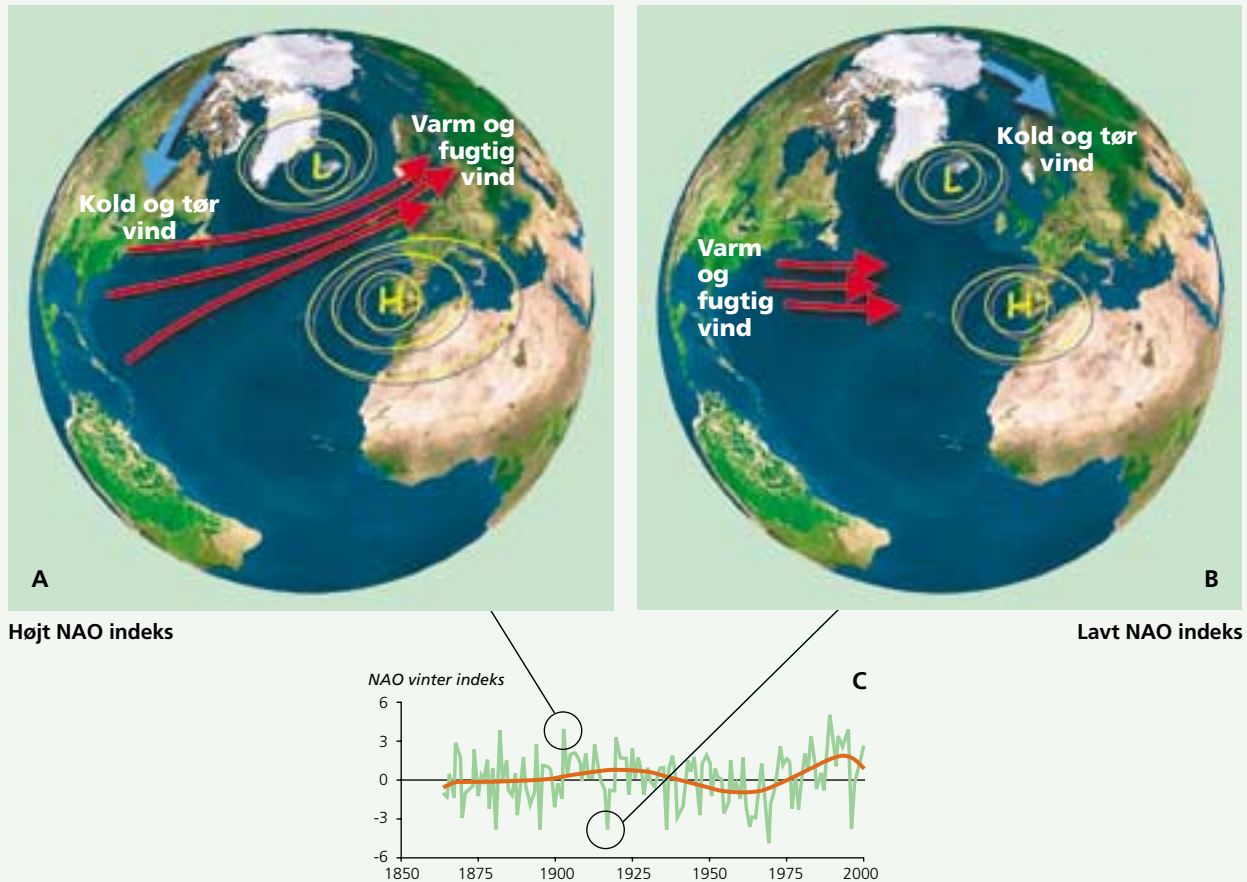
Figur B

I store dele af Arktis er det blevet varmere i løbet af de seneste årtier, mens andre områder er blevet koldere. I det centrale Østgrønland er det blevet varmere på alle årstider. DJF = månederne december, januar, februar osv.

(efter Rigor m.fl., Journal of Climate 13: 896-914, 2000).

Boks 3

Den Nordatlantiske Oscillation (NAO)



Den Nordatlantiske Oscillation (NAO)

I den nordlige hemisfære er årstids- og langtidssvingningerne i vinterklimaet stærkt påvirket af et stort atmosfærisk system kaldet den Nordatlantiske Oscillation (NAO). NAO måler svingninger i den atmosfæriske trykforskel mellem Azorerne (Portugal) og Stykkisholmur (Island). Disse svingninger påvirker retningen og hastigheden af de vestlige vinde tværs over Nordatlanten (figur A, B) og dermed også svingninger i den regionale temperatur og nedbør i vinterhalvåret på begge sider af Nordatlanten. Man har målt svingninger i NAO-indekset siden 1864 (figur C), altså i 138 år!

Når den atmosfæriske masse er centreret over Azorerne, hvilket svarer til høje, positive NAO-indeksværdier, stiger styrken af de nordatlantiske vestenvinde, og vindene bringer varmt

og fugtigt vintervejr langt ind over det nordlige Europa – og til dels i Nordøstgrønland. Denne bevægelse af luft tværs over Nordatlanten "suger" kold og tør luft ned over Nordamerika og Vestgrønland (figur A). Når den atmosfæriske masse over Azorerne reduceres, hvilket svarer til lave, negative NAO indekssværdier, svækkes de vestlige vinde og kold og tør luft trækker ned i Nordeuropa og Nordøstgrønland, mens den fugtige og varme luft bliver i Nordamerika og Vestgrønland (figur B).

Da NAO ikke kun påvirker klimaet i Grønland, men også på globalt plan er et af de mest bestemmende naturlige klimasystemer, vil koblingen af NAO's svingninger til oplysningerne fra BioBasis-programmet sætte disse i en global klimamæssig sammenhæng.

Analyser og modeller i relation til forandringer i klimaet

Foto: Aurora Photo/Mads Forchhammer



Kapitel 2

Af Mads C. Forchhammer, Afdeling for Populationsøkologi, Zoologisk Institut, Københavns Universitet

De mange observationer af planter og dyr BioBasis foretager hvert år ved Zackenberg, skal bruges til to vigtige ting.

- 1) De er nødvendige for at kunne beskrive og forstå hvordan det højarktiske økosystem fungerer, så vi
- 2) kan beskrive hvordan økosystemet vil ændre sig ved kommende klimaforandringer.

Men at analysere og modellere så store datamængder fra selv det "simple" økosystem ved Zackenberg er bestemt ikke nogen nem opgave. Man skal nemlig tage hensyn til alle miljøforhold på én gang: F.eks. at klimaet både påvirker planter og dyr direkte og indirekte via andre dele af økosystemet, og at biologiske forhold kan påvirke graden af klimaets indflydelse. Gør man ikke det, går man grueligt galt i byen og vil lave forkerte forudsigelser.

Boks 4

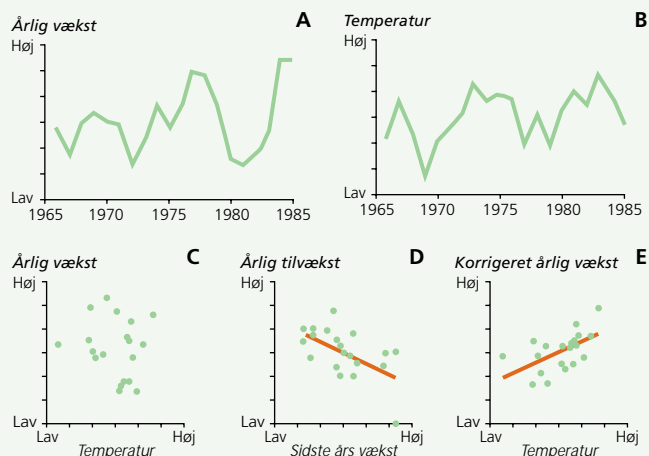
Biologiske interaktioner kan skjule klimaeffekter

Kantlyng er en karakteristisk flerårig plante i den højarktiske dværgbuskhede. Kantlyngs årlige tilvækst afhænger af en række klimatiske og biologiske faktorer. Følgende eksempel – baseret på 20 års virkelige vækstdata på kantlyng¹ – viser hvor fejlagtigt man kan vurdere konsekvenser af klimaændringer hvis man ignorerer de biologiske forhold.

Figur A viser at kantlyngens årlige tilvækst har varieret meget over perioden 1966-85. I samme periode har vinter- og forårstemperaturen (udtrykt ved NAO indekset, se boks 3) også varieret meget (figur B). En simpel analyse af forholdet mellem temperatur og kantlyngs vækst viser imidlertid at der ingen sammenhæng er (figur C). Mange ville derfor drage den konklusion at global opvarmning karakteriseret ved de viste temperaturstigninger i figur B ikke har haft nogen effekt på kantlyng. Overser vi noget her? Ja, de biologiske forhold. Man ved nemlig at kantlyngs vækst ét år afhænger af hvor meget energi planten brugte på vækst sidste år: Jo mere vækst sidste år, jo mindre i år (figur D). Hvis vi korrigerer kantlyngens årlige tilvækst for indflydelse af sidste års vækst, ser vi en klar klimatisk effekt: Øgede temperaturer har en positiv effekt på væksten (figur E).



Foto: Biofoto/Erik Thomsen



¹⁾ Data fra Callaghan et al. (1989)
Journal of Ecology, 77, 823-837.

“Hvordan vil forandringer i klimaet påvirke vores økosystemer?”

Dette og lignende spørgsmål har gennem en årrække optaget rigtig mange mennesker – lægfolk såvel som fagfolk. I søgen efter svar har man ofte kigget på umiddelbart sammenfaldende udviklingstendenser i klima og økologi. Hvis man f.eks. observerer at antallet af rensdyr er vokset over en længere årrække samtidig med at temperaturen er steget, så er det nærliggende at konkludere at et varmere klima har en gunstig betydning for rensdyr: “Global warming”

vil resultere i større bestande af rensdyr. Dette er dog en alt for simpel konklusion der endda oftest kan være direkte forkert, fordi andre forhold som biologiske processer selvfølgelig også har indflydelse. Omvendt kan biologiske forhold også skjule eventuelle klimaeffekter, så man ved for simple analyser fejlagtigt kan konkludere at klima ingen effekt har (se boks 4).

Man må derfor gøre sig klart at økosystemer både reagerer på ændringer i biologiske og klimatiske processer, og man bør ikke studere effekten af én proces uden hensyntagen til andre. Der skal

derfor foreligge samtidige observationer på tværs af flere trofiske niveauer (placeringer i fødekæden) hvis man ønsker at vide hvordan klimaændringer påvirker økosystemer.

Kontinuerlige og sammenfaldende indsamlinger af oplysninger på tværs af trofiske niveauer er en sjældenhed. Overvågningsprogrammet BioBasis giver os en enestående mulighed for på sigt at svare på spørgsmålet om hvordan klimaændringer vil påvirke et arktisk økosystem og dermed også hvorledes grundlæggende egenskaber eller mekanismer i andre økosyste-

mer kan påvirkes af klimaændringer. Det arktiske økosystem har nemlig – til trods for dets unikke sammensætning – en række grundlæggende fællestræk med andre økosystemer. Dette kapitel ser nærmere på de analytiske muligheder oplysningerne fra BioBasis giver os, og dermed også hvilke muligheder vi har for at udforme modeller der kan komme med et fornuftigt bud på de økologiske konsekvenser af den forventede klimaopvarmning i Arktis.

Direkte og indirekte økologiske konsekvenser af klimaændringer

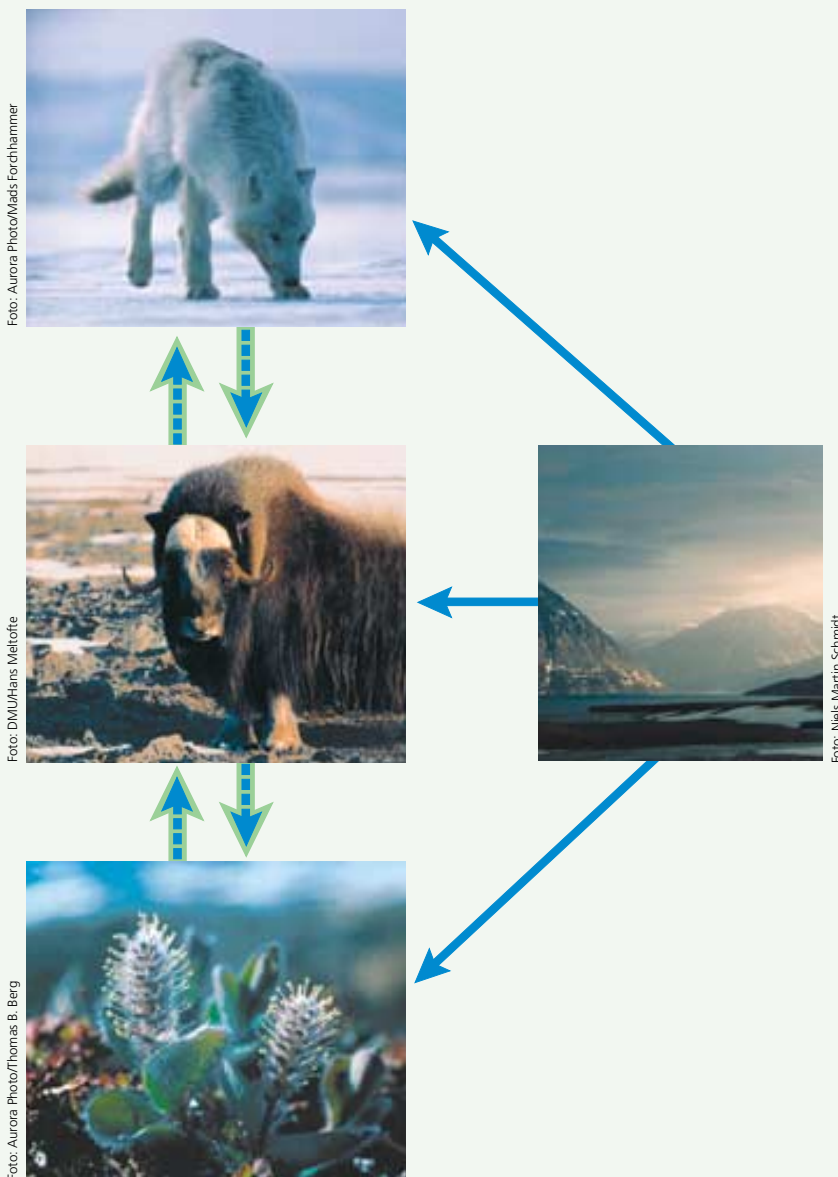
Grundlæggende er der tale om to former for effekter af klimaændringer – direkte og indirekte effekter (figur 2). Direkte klima-effekter er de mest åbenbare og nemmeste at analysere, da de oftest uden tidsforsinkelse drejer sig om effekter på ét trofisk niveau. Eksempelvis vil store mængder sne i fuglenes æglægningsperiode forsinke og nedsætte deres reproduktion og eventuelt overlevelse (se kapitel 8). En direkte negativ effekt af klimaændringer ses også hos moskusokser hvor usædvanligt store mængder sne og hyppige overisninger resulterer i at flere okser dør i løbet af vinteren.

Indirekte klimaeffekter involverer ofte flere trofiske niveauer og vil dermed oftest være tidsmæssigt forsinkede. F.eks. vil klimabetingede ændringer i polarulvens jagtsucces få konsekvenser for moskusoksernes mulighed for at overleve og dermed for bestandens størrelse de efterfølgende år. Dette vil med forsinkelse påvirke vegetationen fordi færre moskusokser vil græsse (figur 2). Indirekte klimaeffekter kan således brede sig indenfor økosystemet som en forsinket "dominoeffekt" uden at vi nødvendigvis vil observere dem som sammenfaldende med klimaforholdene netop nu (se boks 4).

Betydninger af forandringer i klimaet

Figur 2

Skematisk oversigt over hvordan forandringer i klimaet får betydning for samspillet mellem rovdyr, byttedyr og planter. Her et eksempel – et system af polarulve, moskusokser og planter. Forandringerne i klimaet kan direkte (blå pile) eller indirekte (stiplede blå pile) påvirke hvert enkelt trofiske niveau (placering i fødekæden) henholdsvis separat eller gennem biologiske vekselvirkninger mellem de trofiske niveauer (grønne pile).



Klimaeffekter i det højarktiske økosystem

BioBasis-programmet samler oplysninger om mere end 30 elementer i det højarktiske økosystem ved Zackenberg – f.eks. forekomst og udbredelse af forskellige planter og dyr, deres overlevelse og reproduktion samt deres udnyttelse af Zackenbergdalen (se kapitel 1). Denne omfattende indsamling af oplysninger gennem en lang årrække er netop styrken og det unikke ved BioBasis. De mange oplysninger gør det bl.a. muligt for os at undersøge hvordan de enkelte bestande ændrer sig som følge af klimaændringer, og hvordan de enkelte individer ændrer adfærd f.eks. i relation til overlevelse og reproduktion. Begge typer af reaktioner er i høj grad centrale for vores forståelse af klima-effekter.

Bestandsændringer er såkaldte kvantitative effekter, mens adfærdsmæssige ændringer er en af de kvalitative effekter der ligger bagved og forårsager de kvantitative ændringer. Det vil her være alt for omfattende at komme ind på hvordan alle data fra alle komponenter kan bruges til at analysere udviklingen i det arktiske økosystem og opbygge modeller der kan forudsige effekten på økosystemet af klimaændringer. I stedet vil vi her illustrere de potentielle muligheder med to eksempler: Et om klimaeffekter på lemmingens bestandsdynamik (**kvantitative effekt**), og et om klimaeffekter på den arktiske pils reproduktion (**kvalitativ effekt**).

Analysen af kvantitative klimaeffekter: Lemmingens bestandsdynamik

Den grønlandske halsbåndlemming indtager pladsen som nøgleart i det højarktiske økosystem ved Zackenberg (se kapitel 9). Lemmingen er påvirket af en række biologiske såvel som klimatiske faktorer (se figur 3). I den kvantitative analyse af lemmingens bestandsdynamik er vi interesseret i de faktorer der påvirker bestanden af lemminger (*de pile der peger ind mod lemmingen i figur 3*). Hver faktor har nemlig betydning for hvordan bestanden af lemminger vil udvikle sig – hermelin, polarræv og kjøve lever af lemminger, lemmingerne lever af planterne og klimaet påvirker lemmingernes mulighed for at overleve.

I analyserne og modellernes verden bruger man matematikkens sprog. For udenforstående kan det virke besværligt, men matematik letter faktisk modellformuleringer og udregninger meget, akkurat som musikere nemmest 'snakker' musik ved hjælp af noter. For lemmingens vedkommende kan hver enkelt faktor beskrives matematisk som produktet af faktorens relative effekt på bestanden af lemminger (**lille bogstav**) og faktorens størrelse (**stort bogstav**). Hvis alle faktorerne bliver lagt sammen, kan man for lemmingen skrive følgende model:

$$L = f\{l_1L, p_1P, h_2H, r_3R, s_2S, k_4K\}$$

hvor L , H , R , S , står for størrelsen af bestanden af henholdsvis lemming, hermelin, polarræv og lille kjøve, mens K og P angiver henholdsvis klimaforhold og vækst af planter (figur 3). Den mærkelige parentes med f 'et foran, $f\{ \}$, i modellen betyder at faktorerens samlede indflydelse på L

kan antage mange former (funktioner). Den samlede indflydelse kan være lineær, ikke-lineær, en sum, et produkt eller en kombination af disse. Den rigtige eller bedst beskrivende funktion, altså $f\{ \}$, bliver bestemt gennem komplekse statistiske analyser af oplysninger indsamlet i Zackenberg.

Vi bruger oplysningerne fra KlimaBasis til at estimere (beregne) den direkte klimaeffekt på lemmingbestanden, k_4 . Her stopper mange analyser fordi man oftest ikke har sammenfaldende data fra alle faktorer i økosystemet. Det resulterer i at man overser mulige indirekte klimaeffekter (boks 5). BioBasis-programmet sikrer at der bliver indsamlet tilstrækkeligt mange oplysninger til at man har mulighed for at klarlægge de indirekte effekter. Det er nemlig muligt at opstille en model magen til modellen for lemmingen for hver enkelt af faktorerne i figur 3. For plantetilvæksten (P) vil modellen se således ud:

$$P = f\{p_3P, l_2L, k_5K\}$$

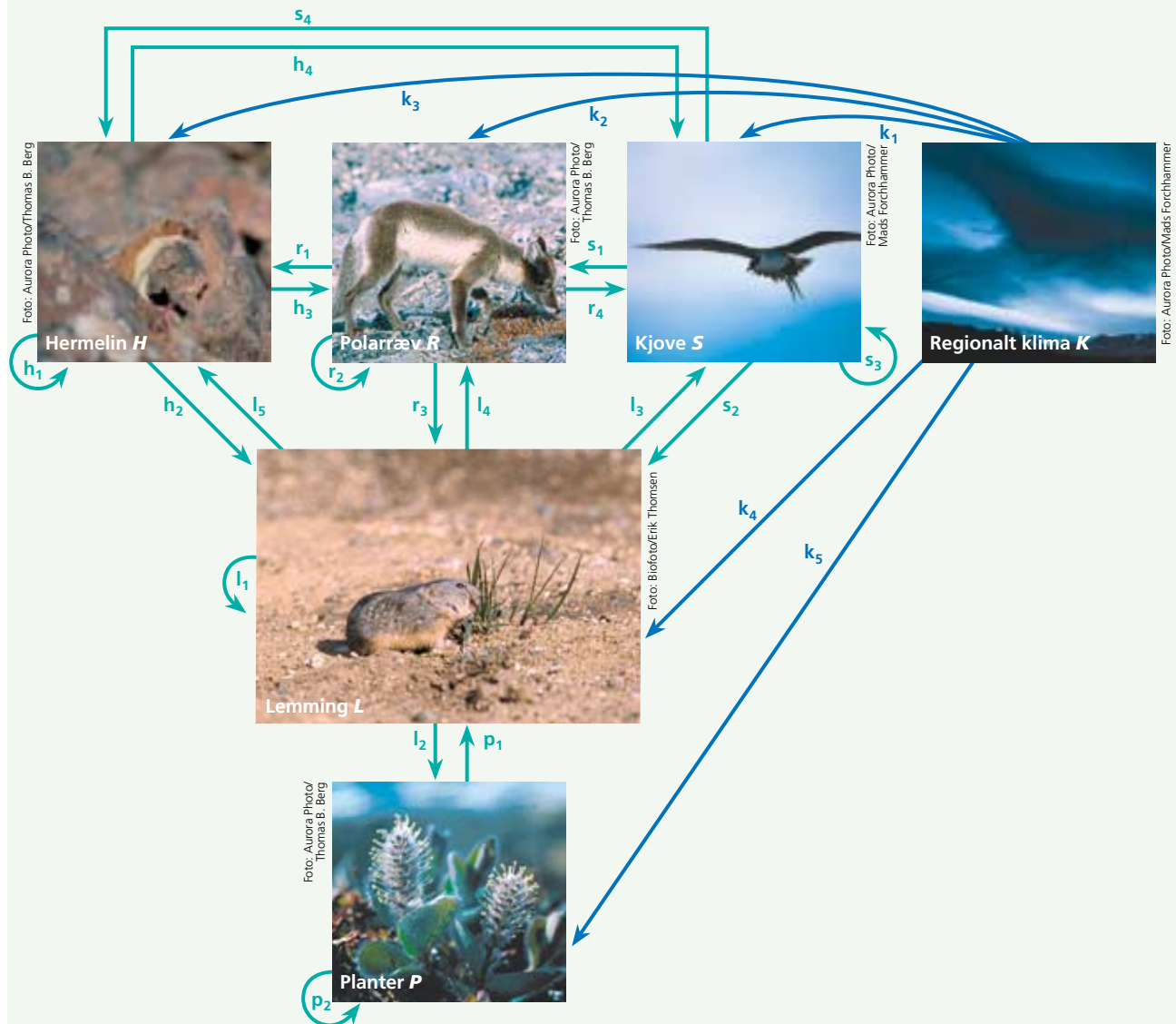
Ved at sætte denne model for P ind på P 's plads i lemming-modellen får man integreret den indirekte klimaeffekt der går gennem vækst af planter til lemmingbestanden, altså forløbet $k_5 \rightarrow P \rightarrow L$ (figur 3). Hvis man også indsætter modellerne for H , R , og S i lemming-modellen sikrer vi at alle indirekte klimaeffekter bliver analyseret samtidig med den direkte klimaeffekt på lemmingbestanden. Det endelige udtryk for lemming-modellen bliver selvfølgelig utrolig komplekst, men det er alligevel muligt at analysere resultatet med nutidens statistiske redskaber. Sådanne er beskrevet i detaljer i nogle af referencerne givet i litteraturlisten.

Det arktiske økosystem omkring lemmingen

Figur 3

Øverst i figuren ser vi de rovdyr der lever af lemminger: hermelin, polarræv og lille kjove. Ud over rovdyrene er også lemmingens føde (forskellige plantearter) samt klima angivet. De store bogstaver i parentes efter hvert artsnavn angiver størrelsen/væksten af de enkelte bestande, mens K' et for klima angiver klimaforhold (meget sne, lidt sne osv.). Pilene mellem de enkelte dele af figuren viser i hvilken retning interaktionen (samspillet) foregår. Eksempelvis ved vi at antallet af ræve (R) påvirker antallet af lemminger (L) (rævene spiser et

antal lemminger), men L påvirker også R (hvor mange ræveunger der opfostres). De pile der udgår og ender i samme komponent, er de tæthedsafhængige faktorer. F.eks. ved vi at lemminger påvirker lemminger, idet de bl.a. konkurrerer om føden. Alle grønne pile og tilhørende interaktionskoefficienter (f.eks. p_1) viser henholdsvis retning og styrke af de biologiske interaktioner. De blå pile og koefficienter viser klimaets påvirkning.



Boks 5

Synligheden af direkte og indirekte effekter af klimatiske forandringer

Sne påvirker antallet af moskusokser (bestandsstørrelse, N) på to måder:

- 1 Meget sne om vinteren bevirker at flere moskusokser dør (**direkte klimaeffekt**), men
- 2 snerige vintre kan også gennem mere planteføde have en positiv effekt på antallet af okser (**indirekte klimaeffekt**).

Hvorledes kommer direkte og indirekte effekter til udtryk i år til år svingninger i antallet af moskusokser, og kan vi se disse to forskellige klimaeffekter ved at sammenholde oplysninger om klima og antallet af moskusokser? Det kan vi undersøge ved at indføre kendte klimasvingninger (se *figur A og boks 3*) – direkte og indirekte – i en model over

hvordan en moskusoksebestand udvikler sig. Moskusokseres årlige bestandssvingninger (N) er ikke data fra virkeligheden, men er konstruerede – via en statistisk model – ud fra vores detaljerede kendskab til hvordan moskusoksebestandene i Nordøstgrønland normalt svinger fra år til år.

Ud fra kendskabet til moskusoksebestandes virkelige dynamikker kan vi i første omgang simulere hvordan år til år ændringerne i bestandsstørrelsen vil være uden klimapåvirkninger (*figur B*). Naturligt nok ser vi ingen sammenhæng (korrelation) mellem mængden af sne og antallet af moskusokser (*figur C*). Hvis vi dernæst indfører en direkte klimaeffekt i vores bestandsmodel (*figur D*), ser vi en klar effekt af klima: Jo mere sne, jo færre moskusokser (*figur E*). Hvis vi derimod i stedet indfører en tilsvarende indirekte effekt i bestandsmodellen (*figur F*), så vil denne effekt ikke kunne ses som en sammenhæng mellem mængden af sne og antallet af moskusokser (*figur G*). Vi ville altså fejlagtigt have konkluderet at antallet af moskusokser ikke påvirkes af sne, hvis der hovedsageligt havde været tale om en indirekte effekt.

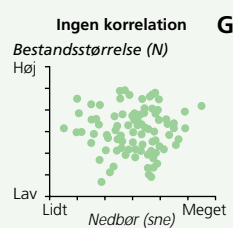
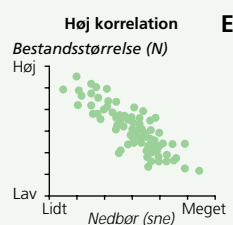
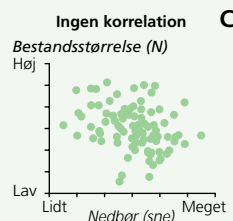
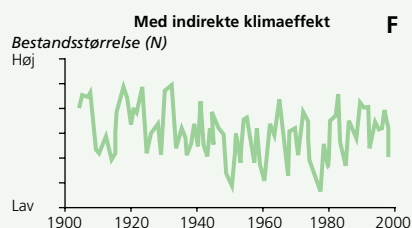
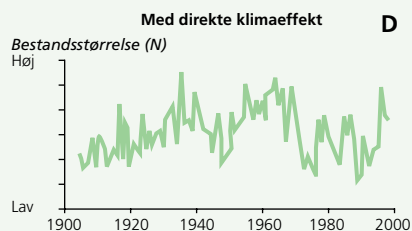
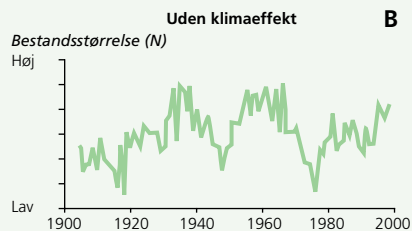
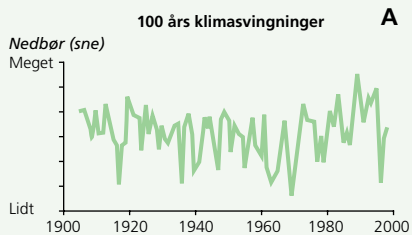


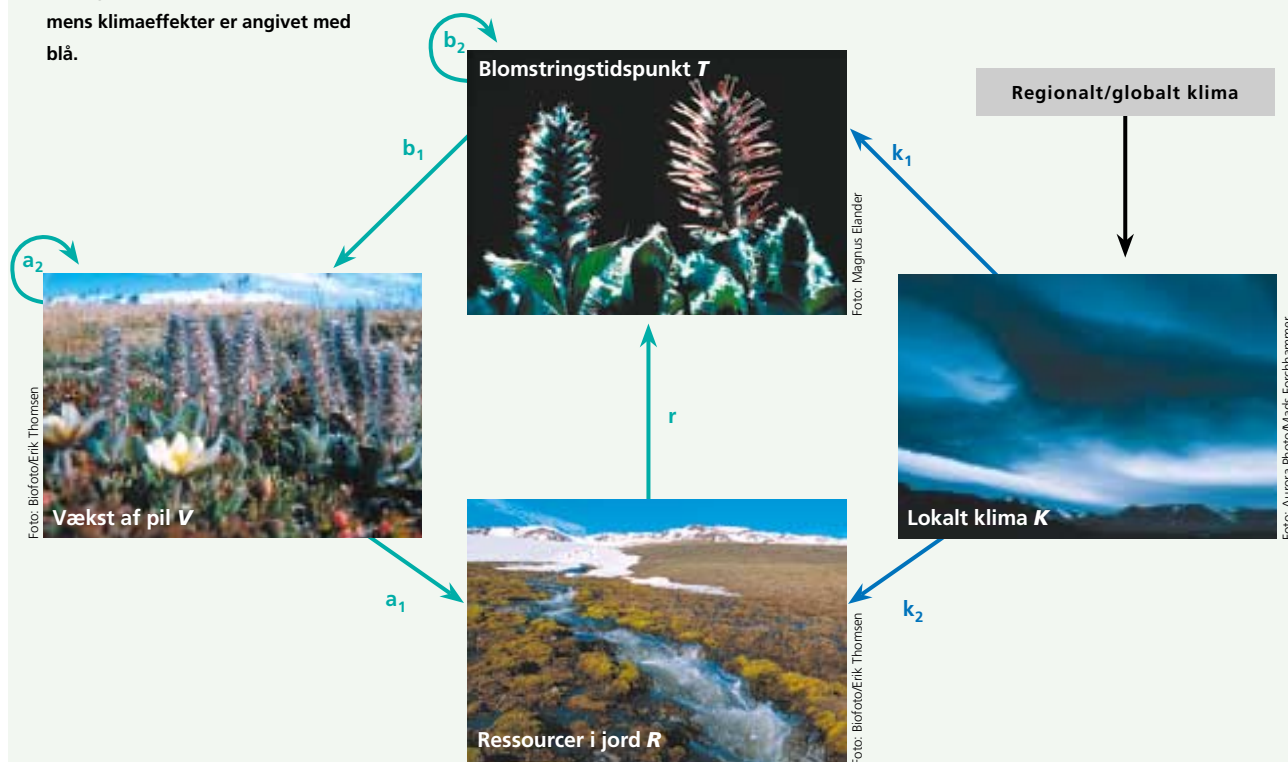
Foto: Nils Martin Schmidt

Modelsystem. Pilens blomstringstidspunkt

Figur 4

A

Sammenhængen mellem vækst af pilebuske, deres blomstringstidspunkt, tilgængelige næringsstoffer i jorden og lokalt klima. Biologiske interaktioner er angivet med grønne pile og interaktionskoefficienter, mens klimaeffekter er angivet med blå.



Analyser af kvalitative klimaeffekter: Pilens blomstringstidspunkt

Både for planter og dyr gælder det at timing af reproduktion har afgørende indflydelse på individets evne til at overleve og producere levedygtigt afkom. Ofte forhindrer dårlige vejr- og klimaforhold en tidlig reproduktion, og klimaet kan derved påvirke en arts bestandsudvikling og dermed den

nes indflydelse på andre arter. Ændringer i arters livshistorie-strategier er en af de såkaldte kvalitative effekter.

Oplysningerne fra BioBasis og overvågningen af flere arters livshistorie-strategier, som f.eks. planters blomstringstidspunkt, giver forskerne mulighed for at undersøge hvordan kvalitative klimaeffekter kommer til udtryk. Model- og analyseteknikken er grundlæggende set den samme som i ek-

semplet med lemningen, men resultaterne fra analyserne giver vidt forskellig information om hvilken effekt klimaændringer har på det højarktiske økosystem. Figur 4 giver et eksempel på hvordan man modellerer og analyserer biologiske og klimatiske faktoreres indflydelse på pilens blomstringstidspunkt.

Fremtidige scenarier: Modellering af oplysningerne fra BioBasis

Begge typer af analyser ovenfor beskriver hvordan dynamikken i det højarktiske økosystem har opført sig indtil nu – en såkaldt retrospektiv beskrivelse af de biologiske og klimatiske interaktioner. Den retrospektive beskrivelse er central for BioBasis-programmets idé, for hvis man ikke kender dynamikken til bunds er det umuligt at sige hvorledes dynamikken vil ændre sig under forskellige fremtidige klimascenarier. Et andet centralt perspektiv ved BioBasis er muligheden for at konstruere modeller der kan beskrive ændringerne i fremtidens økosystem. Modellerne udformes på mange forskellige måder afhængigt af de spørgsmål, man ønsker at få besvaret. Lad os illustrere mulighederne med et eksempel: Den forudsagte effekt af klimaopvarmning på planters reproduktion.

Vi forestiller os nu at Zackenberg Forskningsstation og BioBasis-overvågningsprogrammet blev etableret allerede i 1950 i stedet for 1995. I dag ville vi så have en 51 år lang tidsserie af oplysninger fra Nordøstgrønland. I vores konstruerede eksempel er klimaet i Nordøstgrønland blevet

varmere og mere snerigt i løbet af de 51 år (figur 5a). Samtidig er mængden af næringsstoffer i jorden steget (figur 5b), og den arktiske pil blomstrer senere og senere (figur 5c).

Hvad er årsagen til at arktisk pil har ændret blomstringstidspunkt over årene og nu blomstrer senere end i 1950? Vi kan bruge modellen i figur 4 til at analysere de lange tidsserier af oplysninger om pilens blomstringstidspunkt, næringsstofferne i jorden og det lokale klima. Resultatet af analysen viser at den direkte klimaeffekt har størst indflydelse (1,84). Ændringer i næringsstofferne (-1,20) og en tidsmæssig afhængighed i selve blomstringstidspunktet (-0,02) har mindre betydning for hvornår arktisk pil blomstrer (figur 5d). Desuden er en stor del af indflydelsen fra ændringer i jordens indhold af næringsstoffer resultatet af en indirekte klimaeffekt (-0,87) (figur 5d).

Den direkte klimaeffekt har en "positiv" indflydelse på pilens blomstringstidspunkt: Mere sne forsinker blomstringen (figur 5e). Hvis vi korrigerer blomstringstidspunktet for den direkte klimaeffekt ser vi at den indirekte klimaeffekt har en negativ indflydelse: Varmere klima øger

mængden af næringsstoffer i jorden hvilket giver den arktiske pil mulighed for at blomstre tidligere (figur 5f).

Vi antager nu at klimaet fra 2000 til 2050 fortsætter med at blive varmere med samme tendens og variation som målt i perioden 1951-2000 (figur 5g). Hvis sammenhængen mellem blomstringstidspunkt, næringsstoffer i jorden og klima forbliver uændrede, vil vi se at arktisk pil fortsætter med at blomstre senere og senere (figur 5h). Hvis vi derimod antager at den indirekte klimaeffekt bliver dobbelt så stor i forhold til den direkte samtidig med at mængden af næringsstoffer i jorden stadig stiger, så vil vi faktisk forvente at se pilen blomstre tidligere (figur 5i). Dette forudsætter at effekten af snemængden ikke stiger så meget som effekten af mængden af næringsstoffer.

Pilens blomstringstidspunkt og vækstsæson har stor indflydelse på de planteædere der spiser pil (f.eks. moskusoksen, se kapitel 10) og således også på rovdyr der lever af planteæderne (figur 2). Derfor kan forholdet mellem direkte og indirekte klimaeffekter på pilens blomstringstidspunkt have vidt forskellige konsekvenser for økosystemet.



Foto: Aurora Photo/Thomas B. Berg

"Fodspor i sneen": Lemmingerne både påvirker og påvirkes af den vegetation de æder, og de påvirker og påvirkes tillige af de prædatorer som har lemminger som hovedføde.

Tænkt BioBasis eksempel

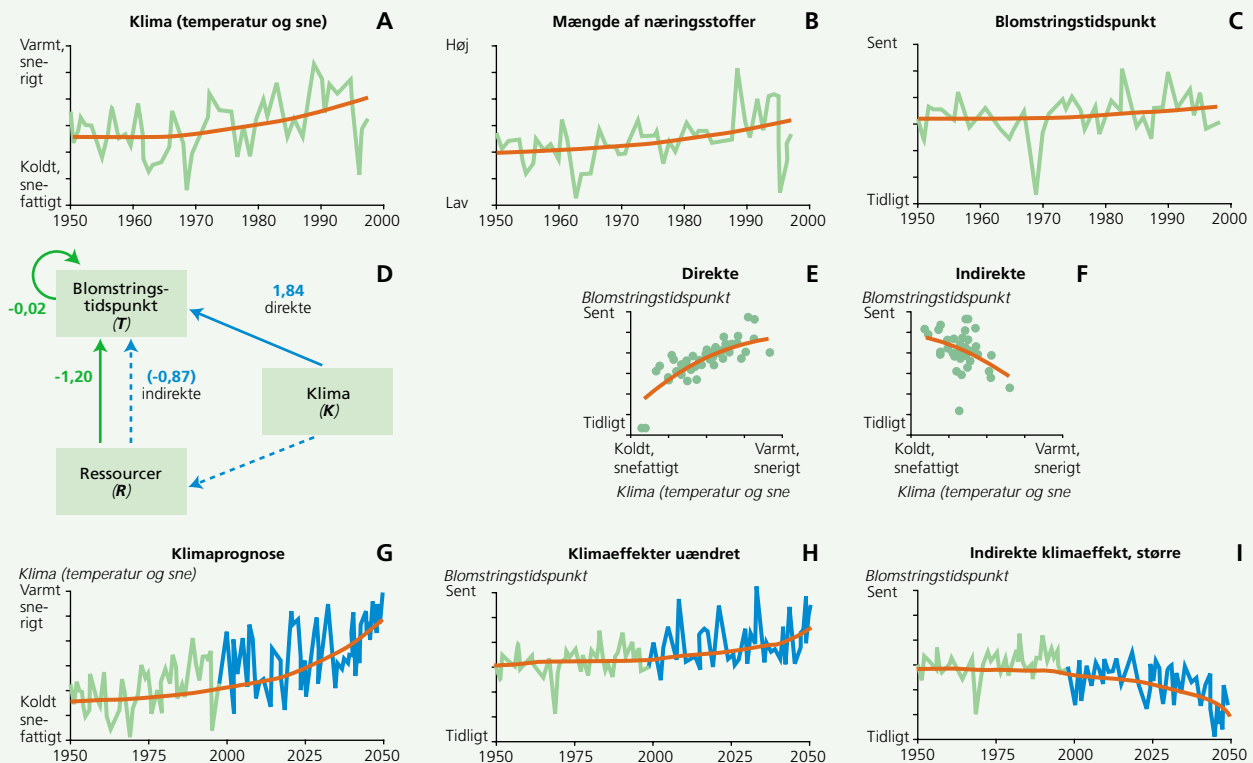
Figur 5

Et tænkt eksempel på de potentielle muligheder for modellering af oplysningerne fra BioBasis. Et BioBasis-program oprettet i 1950 ville have 51 år lange registreringer af bl.a. (A) klima, indeks for sne og temperatur (NAO, se boks 3), (B) indeks for mængden af næringsstoffer i jorden og (C) den arktiske pils blomstringstidspunkt. (D) På baggrund af disse langtidregistreringer i A-C og modellen i figur 4 kan vi opstille interaktionerne (samspillet mellem de enkelte faktorer) og beregne de tilhørende interaktions-koefficienter (grønne og blå tal). Sammenhængen mellem (E) direkte og (F) indirekte klimaeffekter på pilens blomstringstidspunkt er ikke-liniær. Det betyder at klimaændringen fra f.eks. "lidt sne" til "mere sne" har en større indflydelse end klimaændringen fra "mere sne" til "meget sne". Dette vigtige forhold ses ikke ud fra interaktions-koefficienternes størrelse alene. I (G) er fremtidige klimaændringer (blå kurve) modelleret baseret på tidligere målingers udviklingstendens og variation (grøn kurve). Hvis interaktions-koefficienterne forbliver uændret, altså lig dem i (D), bliver effekten på blomstringstidspunkt som vist i (H). Hvis den indi-



Foto: Niels Martin Schmidt

rette klimaeffekt derimod fordobles ændres blomstringstidspunkt som vist i I. Røde linier i A-C og E-I viser udviklingstendensen i data.



Dette eksempel er blot et blandt et utal af muligheder for fremtidsmodellering af de mange oplysninger som BioBasis overvågningsprogrammet giver os. Især er det vigtigt at understrege at man også kan modellere klimaeffekter ved ændringer af biologiske sammenhænge. Klimaændringer kan nemlig have vidt forskellige effekter under forskellige biologiske forhold. Eksempelvis kunne man tænke sig at en større bestand af lemninger (større tæthed) vil resultere i større konkurrence om føde (tæthedsafhængig konkurrence) mel-

lem lemningerne hvilket generelt vil svække lemningerne og gøre dem mere udsatte for selv små klimaændringer – ændringer der under lave tætheder ingen effekt ville have.

Dette kapitel viser at en stor og samtidig viden om både klima og biologien på tværs af trofiske niveauer er en basal nødvendighed hvis man skal gøre sig håb om at beskrive, forstå og modellere klimaændringers indflydelser på økosystemer – arktiske såvel som alle andre.



Foto: Aurora Photo/Mads Forchhammer

Denne gamle moskusoksetyr kunne ikke klare vinterens strabadser. Vi fandt den død den følgende sommer, og både polarræve og ulve havde nydt godt af kadaveret.

Analyser og resultater præsenteret i dette kapitel stammer hovedsageligt fra følgende videnskabelige artikler under forberedelse:

Forchhammer, M.C., Schmidt, N.M. & Berg, T.B.G. 2002: Climate and density dependent spatial dynamics in a high arctic ungulate.
Forchhammer, M.C. 2002: Seasonal and interannual population dynamics of a high arctic ungulate: interactions between climatic and density-dependent processes.

Udsigt til mere snerige vintre og mere fugtige somre?



Foto: DMU/Hans Meltofte

Kapitel 3

Hver time, døgnet rundt, året rundt måles sneens tykkelse af en sonisk afstandsmåler ved klimastationen.

Af Hans Meltofte, Afdeling for Arktisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser og Mads C. Forchhammer, Afdeling for Populationsøkologi, Zoologisk Institut, Københavns Universitet

Der vil være stor forskel på hvordan kommende klimaændringer vil ramme forskellige dele af Jorden. Nogle områder vil nyde godt af varmen og de ændrede nedbørsforhold, men i den relativt smalle højarktiske zone længst mod nord i Canada, Grønland og Sibirien vil mange planter og især dyr få problemer, idet deres eksistens er betinget af de specielle kontinentale klimaforhold som karakteriserer deres nuværende levesteder. De forventede klimaændringer vil medføre forhold der mere ligner forholdene i de maritimt prægede dele af det nuværende Lavarktis med snerige vintre og mere fugtige somre, og her kan disse arter netop ikke leve i dag.

Et forsigtigt gæt

Hvordan vil højarktisk Grønland komme til at se ud i fremtiden? Det bliver der i denne temarapport givet forskellige bud på for de mest centrale plante- og dyrearter og disses samfund. Men vi er kun i stand til at give foreløbige "gæt" på hvilken retning tingene kan udvikle sig, idet data fra 6-7 år er alt for lidt til mere pålidelige analyser.

De efterfølgende kapitler fokuserer primært på de direkte arts- og samfundsspecifikke reaktioner på klimaændringer og knapt så meget på indirekte reaktioner, der for det meste har en kompleks dominoeffekt gennem økosystemet. Beskrivelse af de indirekte klimaeffekter kræver derfor et særdeles godt kendskab til de biologiske interaktioner i økosystemet. Denne sammenhæng mellem de forskellige elementer er endnu alt for ufuldstændig kendt, og det vil kræve betydeligt længere tidsserier fra BioBasis såvel som mere dybdegående forskning, før det er muligt at give bare simple kvalificerede svar. Netop derfor vil vi ikke her komme med et endeligt og detaljeret bud på slutresultatet af de forudsagte klimaændringer de næste 50-100 år. Men hvis de globale klimamodellers forudsigelser holder stik for Nord-

østgrønland, så vil et af de værste scenarier være at det meste af den højarktiske zone og dens specielle plante- og dyreliv som er tilpasset netop denne zone, vil forsvinde. I dette kapitel bruger vi resultaterne fra de efterfølgende kapitlers "case-stories" til at tegne en meget grov skitse af de mulige fremtidsperspektiver.

Tager man udgangspunkt i de overordnede forudsigelser fra FN's klimapanel, så vil udviklingen fra de sidste 30 år fortsætte. Dette vil sandsynligvis betyde mere maritimt og ustabil klima i Nordøstgrønland med mere snerige vintre og mere fugtige somre. Middelttemperaturen vil ifølge de generelle klimamodeller også stige – især om vinteren – og det vil formentlig medføre hyppigere forekomst af tøvejr med risiko for overisninger.

Vi har været så heldige at vi på de blot 6-7 år vi har arbejdet i Zackenberg, har oplevet næsten hele skalaen fra et meget snefadt og tidligt forår i 1999 til et meget snefadt og tidligt forår i 2000. Desuden har vi oplevet perioder med snestorm og koldt vejr på forskellige tidspunkter i løbet af sommeren. Det betyder at vi har fået mulighed for at registrere planternes og dyrenes reaktioner på meget forskelligartede klimaforhold.

Økosystemers reaktion på klimaændringer bestemmes udelukkende af hvorledes de enkelte individer af planter og dyr reagerer på klimaændringer. Da individuelle organismer kun reagerer på ændringer i deres umiddelbare miljø, altså det lokale klima, er det en meget grov forenkling at sammenkoble de nuværende klimamodellers grove forudsigelser med lokale økologiske reaktioner. Vi gør det alligevel fordi der endnu ikke findes tilstrækkeligt gode klimamodeller der er baseret på specifikke regionale forhold. Dette forhold er vigtigt at have in mente når vi nu gennemgår potentielle overordnede og hypotetiske perspektiver.

Mere udbredt plantedække men mindre produktivitet

Et øget snedække vil betyde at plantesamfundene vil brede sig ud over nogle af de områder der i dag er overvejende vegetationsløse afblæsningsflader - områder hvor der nu sjældent ligger sne om vinteren, og som derfor også er meget tørre om sommeren. Grænserne mellem de forskellige plantesamfund vil også ændre sig. Udbredelsen af snelejer med arktisk pil vil sandsynligvis stige, kantlyng-hederne vil brede sig ind over det der i dag er rypelyng-hede, og

Hvis der kommer mere sne i fremtiden, vil tættere plantedække og flere arter brede sig ud over de tørre flader der i dag er voksested for f.eks. purpurstenbræk. Den blomstrer tidligere end alle andre planter i Højarktis, dvs. allerede omkring 1. juni, eller kun kort tid efter at temperaturen første gang har været oppe over nul grader.



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

arealerne med frodig vegetation vil blive større. Men selve plantevækstens frodighed vil falde som følge af længerevarende snedække. Det skyldes at planterne går glip af væksten ved midsommer hvor solen står højest på himlen. Det vil begrænse fotosyntesen, mindske væksten og resultere i mindre kulstofoptag af vegetationen. Den mikrobielle respiration i jordbunden vil måske stige fordi der er mere fugt. Hvis det er tilfældet forventer vi at kulstofbalancen tipper i retning af frigivelse af kulstof, på trods af det mere udbredte plantedække.

De fleste plantearters reproduktion vil i store områder blive hæmmet fordi sneen smelter sent og der er mindre indstråling, men der vil formentlig stadig være tilstrækkeligt med områder hvor frøene modner tidligt og hvorfra spiredygtige frø kan sprede sig til alle potentielle voksesteder.

Færre leddyr og færre vadefugle

Mange insekter og andre leddyr vil sandsynligvis lide under den senere snesmeltning og en reduceret indstråling. De mere varmekrævende arter vil formentlig forsvinde eller i det mindste gå ned i antal,

mens resten vil blive forsinkede i deres årscyklus. Dog vil de større områder med fugtig jord favorisere insekter hvis larver behøver våd jord og vegetation at udvikle sig i.

Vadefuglene der er den dominerende fuglegruppe i Højarkt, vil gå vanskelige tider i møde. De er alle afhængige af tidligt snebare og vegetationsdækkede områder hvor de kan æde insekter og edderkopper inden æglægningen, og hvor de herefter kan placere deres reder. Derfor vil det forøgede snedække sandsynligvis forhindre dem i at udnytte større områder. Det kan betyde færre ynglefugle, senere æglægning og færre æg i rederne. Det vil formentlig betyde at antallet af vadefugle falder.

Overisninger og pattedyr

Pattedyrene kan ikke, ligesom træfuglene, opsøge mildere himmelstrøg om vinteren, men er bundet til de højarktiske egne året rundt. Da baggrunden for de mange lemminger og moskusokser i højarktisk Grønland er det begrænsede snedække og de stabile vintre, kan et mere maritimt præget klima give problemer for disse dyr. Mere sne er umiddelbart en fordel for lemmingerne, men ustabile vintre med

tøvejrperioder og overisninger vil påvirke dem negativt. Hermed vil disse arters prædatorer på sigt også blive ramt.

Det mere udbredte vegetationsdække vil være en fordel for planteæderne, men den mulige nedgang i vegetationens vækst vil virke i modsat retning.

Længerevarende is på søerne

Også søerne vil få reduceret "vækstsæson" med hvad det medfører af reducerede mængder af plante- og dyreplankton. Øget nedbør om sommeren kan dog give forøget næringsstofforsyning fra omgivelserne, men det kan i næste omgang medføre iltsvind og fiskedød i de relativt lavvandede søer. Mere nedbør kan også føre mere sediment til søer med leret opland hvilket vil reducere lysmængden og dermed produktionen. Omvendt vil forringet gennemskinnelighed begrænse skaderne fra den forøgede ultraviolette stråling.

Regionale forskydninger

De forventede klimaændringer vil ikke blot påvirke de enkelte områder isoleret, men de vil også medføre regionale forskydninger i planters og dyrs levevilkår. Først og fremmest kan det tænkes at om-



Foto: Biofoto/Frik Thomsen

Mere sne betyder senere snesmeltning, hvilket vil hæmme insekter og edderkoppers udvikling og dermed vadefuglene som er specielt afhængige af denne fødekilde tidligt på sæsonen, hvor store arealer er dækkede af sne. Stenvenderen er en af de arter der reagerer mest negativt på meget sne i juni.

råderne længst mod syd og nærmest yderkysten vil blive negativt ramt af de ovenfor nævnte faktorer, mens områder længere mod nord og nær Indlandsisen som i dag er meget tørre, vil få bedre vækstbetingelser og dermed mere udbredt plantedække. Dette vil dog formentlig ske meget langsomt, da vækstbetingelserne i Højarktis generelt er stærkt begrænsede af næringsstoffer og indstråling. Det betyder at de forringede leve- og ynglevilkår for f.eks. leddyr og vadefugle i de nu gunstige områder kun langsomt vil blive erstattet i de nu snefattede områder nær Indlandsisen og længst mod nord. Det er det der gør hastigheden af de nuværende klimaændringer så problematisk. Og fortsætter klimaændringerne som forudsagt af klimamodellerne, så vil også disse områder på sigt blive uegnede som levesteder for højarktiske planter og dyr.

Fra artsspecifik respons til samfunds- og økosystem-respons?

Ovenfor har vi udelukkende fokuseret på arters og artsgruppers direkte respons på de forudsagte klimaændringer. Det store

spørgsmål er imidlertid hvordan økosystemet som helhed reagerer. Eller med andre ord: Hvad bliver resultatet når vi sammenfatter alle arter og artsgruppers respons på ændringer i klimaet. Dette er endnu mere vanskeligt at svare på end de direkte klimaeffekter, da man i så fald både skal kende til alle biologiske vekselvirkninger i økosystemet, og hvordan direkte klima-effekter på de forskellige arter vil sprede sig gennem systemets biologiske vekselvirkninger. Det kan vi simpelthen ikke endnu. Eksempelvis er det vigtigt at vide om klimatiske dominoeffekter gennem økosystemet blot er en summering af alle enkelteffekter, eller om det er en anden ikke-lineær (multiplikativ) proces (se kapitel 2). Der er nemlig store klimatiske konsekvensforskelle mellem de to typer af processer.

Man må derfor betragte ovenstående opsummering og de efterfølgende kapitlers case-stories som de første spæde og meget usikre skridt mod en forståelse af et højarktisk økosystems funktion, og dermed dets overordnede respons på små såvel som store klimaændringer. Med tiden vil indsamlingen af observationer via Bio-

Basis dog give en helt afgørende basisviden for vores overordnede økosystemforståelse. Det kræver imidlertid mange flere oplysninger end man kan få efter blot 6-7 års observationer der ligger til grund for denne temarapport. Der er således formentlig stor forskel på hvordan økosystemet fungerer i forskellige klimatiske faser, hvilket betyder at de reaktioner vi finder nu, måske ikke er de samme som under andre udviklingstendenser i klimaet. For hvert år BioBasis-programmet indsamler oplysninger, bliver vores statistiske grundlag for konklusionerne om hvad der er de afgørende mekanismer – og ikke mindst samspillet mellem dem – mere og mere sikkert. Vi bliver derfor med tiden også bedre og bedre i stand til at forudsige hvad der vil ske, hvis klimaet udvikler sig som forudsagt af klimatologerne. Kun på den måde bliver det muligt at tegne et samlet billede af konsekvenserne af de klimaændringer der naturligt forekommer, og de klimaændringer der forventes som resultat af menneskelige aktiviteter. En sådan indsigt er forudsætningen for at kunne forholde sig kvalificeret til hvad der sker i vores omverden.

Mængden og tætheden af drivende Storis ned langs med Grønlands østkyst har stor indflydelse på klimaet i land. Jo mere is, jo mere kontinentalt klima, hvorimod mindre is betyder mere nedbør og ustabil vej. Og mængden af drivis er netop aftaget de sidste årtier.



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

Optager eller afgiver tundraen kultveilte?

Foto: DMU/Hans Meltofte



Kapitel 4

Af Henrik Søgaard, Geografisk Institut, Københavns Universitet

Den ophobning af kultveilte i atmosfæren som vi i disse år er vidne til, skyldes at udslippet fra jordoverfladen som følge af afbrænding af fossilt brændstof samt planter nedbrydning og ånding overstiger den mængde kultveilte der optages i vegetationen ved fotosyntese. Mens det er velkendt at Jordens tættest befolkede områder har et stort netto kultveilte-udslip, så er der store naturområder hvis bidrag kun er kendt i begrænset omfang. Dette gælder ikke mindst i Jordens arktiske områder hvor den permafrosne jord har rige kulstofmagasiner, men hvor processerne også foregår meget langsomt. De lave temperaturer i Arktis begrænser plantevæksten og dermed kultveilte-optaget, og hæmmer nedbrydningen af døde planter og dermed kultveilte-udslippet. Hvilken af disse modsat rettede mekanismer der er dominerende, varierer meget fra år til år. I de år hvor sneen smelter allerede i begyndelsen af juni, udvikler plantevæksten sig tidligt, og der sker et nettooptag af kultveilte. I år hvor sneen først smelter væk i starten af juli, kan landskabet derimod fungere som en kultveilte-kilde langt ind i juli.

CO₂-målestationen (til højre) drives af solbatterier.

CO₂ som byggekloids og drivhusgas

Kultveilde – eller CO₂ – er et emne der i de seneste år har fået stor international bevågenhed (se boks 6). Det skyldes i vid udstrækning CO₂'s rolle som drivhusgas hvor CO₂ sammen med vanddamp og metan absorberer (optager) dele af den infrarøde stråling der bliver udsendt fra Jorden mod verdensrummet. Hvis mængden af drivhusgasser stiger, så stiger absorptionen af stråling og dermed også temperaturen. Talrige computerberegninger tyder på at en fordobling af atmosfærens koncentration af CO₂ fra de nuværende 370 ppm (parts per million) vil betyde en gennemsnitlig global temperaturstigning på ca. 4° C.

Mange beregninger antyder at effekten af en sådan global opvarmning vil vise sig først og være størst i Arktis. Det er i den forbindelse bemærkelsesværdigt at de arktiske områder indeholder ca. 14% af det kulstof der er opmagasineret i Jordens overflade i form af humus og tørv. Årsagen er at der er så koldt i Arktis at nedbrydningen

af dødt plantemateriale sker meget langsomt. Der kan derfor frigives meget store mængder CO₂ hvis opvarmningen medfører hurtigere nedbrydning (se boks 6).

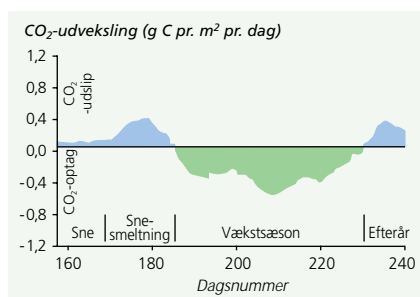
CO₂ er imidlertid ikke blot en drivhusgas. Sammen med vand er det også den vigtigste byggekloids når der bliver opbygget planter i naturen og dermed produceret føde til dyr og mennesker. Plantevæksten i Zackenbergdalen som i dag blandt andet er føde for en stor bestand af moskusokser, er sandsynligvis meget følsom overfor selv små ændringer i stråling, temperatur og nedbør. Ved at måle udvekslingen af CO₂ mellem atmosfæren og overfladen (planter og jord) samt en række andre biofysiske elementer (f.eks. bladareal) er det muligt at få et bedre kendskab til økosystemets funktion. Zackenbergdalen kan derfor komme til at fungere som et stort friluftslaboratorium hvor vi kan måle om systemet er i balance, under opbygning eller nedbrydning, og dermed om Højarktis bidrager til eller dæmper drivhuseffekten.

CO₂-udvekslingen varierer voldsomt gennem året

I de højarktiske områder er der i løbet af året en markant variation i CO₂-udvekslingen mellem atmosfæren og overfladen som består af både planter og jord (her også benævnt økosystemet).

Vinteren er præget af meget lave temperaturer – oftest -20 til -40° C. Da der ikke er noget sollys, er der heller ikke nogen fotosyntese. Ved de lave temperaturer sker der kun en ubetydelig mikrobiologisk nedbrydning af dødt plantemateriale, og CO₂-udslippet er derfor også næsten nul – og snedækket begrænser transporten af den smule CO₂ der produceres.

Først når sneen begynder at smelte i slutningen maj eller begyndelsen af juni skifter landskabet og CO₂-udvekslingen karakter. Ren sne reflekterer 60-70% af solstrålingen, og energitilførslen til økosystemet er derfor stærkt afhængig af snedækket. Selv om mange planter spirer frem mens sneen smelter, så tager det endnu et par uger før de har så mange blade at



Figur 6

Den gennemsnitlige udveksling af CO₂ mellem heden ved Zackenberg og atmosfæren for tre års målinger. Det ses at der sker en netto-frigivelse af CO₂ mens sneen smelter, fordi uddunstningen fra den mikrobielle aktivitet om vinteren delvis har været bundet under sneen. I vækstsæsonen optager planterne derimod mere CO₂ end der frigives, hvorefter uddunstningen igen får overtaget om efteråret. Dagsnummeret angiver dage efter Nytår, nr. 182 er den 1. juli.

Boks 6

Opstilling af CO₂-budget

Et kultveilmolekyle – hvis kemiske betegnelse er CO₂ – består af et kulstof-atom og to ilt-atomer. Alle grønne planter bruger sollys til at opbygge organisk stof (typisk cellulose). Det sker ved at planterne sammenbygger CO₂ med vand – i den proces der benævnes fotosyntese.

Til opbygning af 1 g tørt plantestof bruges ca. 2,1 g CO₂ eller 0,57 g C. Den mængde kulstof der på denne måde bliver bundet i organisk materiale, kaldes primærproduktionen (PP). Størstedelen af det CO₂ som planterne anvender i fotosyntesen, kommer fra atmosfæren, men en del stammer fra økosystemet selv. En mindre mængde kommer fra planternes ånding – respirationen – mens en større del kommer fra jorden og skyldes især mikrobiel (bakteriel) nedbrydning af planterester og i nogen grad røddernes ånding. Målt i forhold til CO₂-optaget udgør bladrespirationen på døgnbasis kun ca. 5-10%, og da bladrespirationens CO₂ om dagen genbruges i fotosyntesen, kan man se bort herfra i budgetterne. Udslippet af CO₂ fra jorden betegnes jordrespiration, R_{JORD}. I arktiske områder leverer R_{JORD} ca. 20-30% af den mængde CO₂ der bruges til fotosyntese – resten kommer fra atmosfæren.

Transporten af CO₂ til og fra atmosfæren kaldes CO₂-fluxen (FC) eller CO₂-udvekslingen. På en sommerdag hvor der er fotosyntese, er CO₂-fluxen rettet nedad, idet planterne optager CO₂. Om natten er den rettet opad, fordi planter og jord her frigiver CO₂ ved respiration.

R_{JORD} er altid opadrettet. Hvis man forestiller sig et ensartet landområde, så kan planterne som nævnt få CO₂ til fotosyntesen to steder fra – enten fra jorden eller fra atmosfæren. CO₂-regnskabet kan formuleres som

$$PP = FC + R_{JORD} \text{ eller } FC = PP - R_{JORD}$$

Selv om kulstof også cirkulerer på andre måder i et økosystem – f.eks. opløst i regnvand – så kan man i balanceberegninger som regel nøjes med de tre led der er angivet ovenfor. Ses bort fra planterespirationen kan PP beregnes ud fra målinger af FC og R_{JORD}. I figur 7 (side32) er der vist et eksempel på FC's variation over et døgn, og fluxen for et døgn kan f.eks. summeres til 725 mg C pr. m² pr. dag. Jordrespirationen er bestemt til 145 g C pr. m² pr. dag, og PP er derfor = 870 mg C pr. m² pr. dag. På denne dag vil der altså blive produceret 0,870/0,57 = 1,5 g plantetørstof pr. m².

I de seneste årtier er der udviklet standardmetoder til at

måle FC. Et sådant udstyr, der benævnes "eddy correlation", har været anvendt i Zackenberg hver sommer siden 1996 (se foto). Ved at bruge denne teknik er det altså også muligt at bestemme planteproduktionen uden at høste planterne.

Hvis vi summerer FC over en vis periode (et år eller en sæson) kaldes resultatet for CO₂-udvekslingen eller på engelsk NEE – Net Ecosystem Exchange. NEE angiver om et givet økosystem er under opbygning – dvs. det optager mere CO₂ end det afgiver (negativ NEE) – eller om det er under nedbrydning og bliver til en CO₂-kilde (positiv NEE). Ved at splitte NEE op i de enkelte komponenter bliver det lettere at vurdere effekten af ydre påvirkning som f.eks. en stigende temperatur og/eller en stigende CO₂-koncentration i atmosfæren.

Tyve gange i sekundet måler dette apparat indholdet af vanddamp og CO₂ i de op- og nedadgående luftstrømme i turbulensen over kantlyngheden og dermed netto-transporten af drivhusgasser mellem tundraen og atmosfæren.



Foto: DMU/Hans Mieltofte

CO₂-optaget ved fotosyntese kan opveje CO₂-udslippet fra den biologiske nedbrydning i jorden (figur 6). Den periode hvor CO₂-optaget overstiger CO₂-udslippet, benævnes her vækstperioden. I den periode sker der en ophobning af kulstof i økosystemet. Normalt kulminerer vækstsæsonen sidst i juli og først i august. På 74° nordlig bredde er der midnatssol helt hen til midten af august, og specielt omkring Sankt Hans er den så stærk at det grønne plantedække kan have et netto CO₂-optag i næsten alle døgnets timer (figur 7).

I slutningen af august kommer den første nattefrost, bladene begynder at falme og fotosyntesen ophører. Da jorden stadig er forholdsvis varm, fortsætter den mikrobiologiske nedbrydning af organisk materiale. Økosystemet mister her noget af det kulstof som blev opbygget ved fotosyntese i løbet af sommeren.

I den efterfølgende periode aftager dagens længde og solhøjden hurtigt, og allerede i løbet af september kommer døgnets middeltemperatur under frysepunktet, området dækkes af sne og vinterforholdene med meget lavt CO₂-udslip dominerer igen.

Da der ikke er målinger fra vinterperioden, er det samlede udslip fra september til maj i stedet blevet modelleret til et CO₂-udslip på 6 g C pr. m² pr. år.

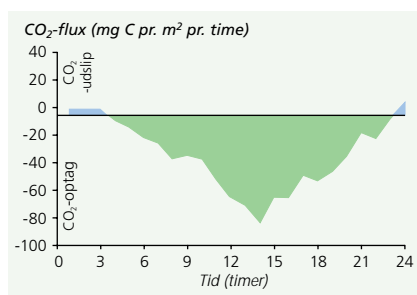
Plantesamfund og udveksling af CO₂

I det højarktiske landskab er der en tæt sammenhæng mellem landskab og vegetationstyper. På arealer med et stabilt men moderat snedække om vinteren findes således ofte en hedevegetation med kantlyng som den mest almindelige art. Hvis man måler hvor mange kvadratmeter blade der er pr. kvadratmeter jordoverflade, så kommer man til ca. 0,2. Dette mål betegnes bladareal-indekset og forkortes LAI efter den engelske betegnelse Leaf Area Index. I lavninger i terrænet hvor grundvandet står højt, er der vådområder – kær – med tykke tørvelag. Vegetationen består af halvgræsser. Den er tæt med et bladareal som i høj-sommeren er over 1,0, og CO₂-optaget er derfor også langt større end på heden. To års målinger af CO₂-udvekslingen i netop dette økosystem viser et årligt C-budget på -41 g C pr. m² pr. år – altså et C-optag.

Udveksling af CO₂ fra år til år

Figur 8 viser udvekslingen af CO₂ på heden for de tre år (1997, 2000 og 2001) hvor der er foretaget CO₂-målinger. Det takkede forløb skyldes at de meteorologiske forhold – især temperaturen – varierer fra dag til dag, og dermed varierer fotosyntesen og respirationen også. Der er store forskelle fra år til år for det maksimale CO₂-udslip (de positive værdier) både med hensyn til størrelse og tidspunkt. I 1997 var der et stort udslip under snesmeltningen, mens det i 2000 var klart mindre. I år 2001 var CO₂-udslippet igen lidt større, og udslippet ved snesmeltningen og i sensommer var næsten ens.

Den største forskel mellem de tre år ses dog på det tidspunkt hvor vækstsæsonen begynder (tabel 2). I 2000 startede vækstsæsonen 2-3 uger tidligere end i 1997 og 2001. Årsagen til dette er snedækket (figur 8). Både 1997 og 2001 var relativt normale år med sammenhængende snedække på heden indtil slutningen af juni hvorimod snedækket i 2000 allerede var nede på 50% i starten af juni. Sneen kunne derfor ikke forsinke CO₂-udslippet.



Figur 7
Kantlynghedens CO₂-udveksling i løbet af et døgn (beregnet som gennemsnit af 5. og 6. juli 2000). I fire nattetimer er der svagt CO₂-udslip mens resten af døgnnet har netto CO₂-optag. Bemærk at nedadrettet CO₂-flux regnes negativ mens en opadrettet regnes positiv.



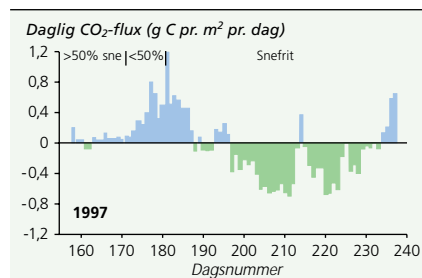
I alle tre år var der dage med regn og overskyet vejr hvor der ikke var sollys nok til at CO₂-optaget ved fotosyntesen kunne opveje CO₂-udslippet. I disse døgn var nettoresultatet en frigivelse af CO₂ fra jorden til atmosfæren. Disse dage ses som enkeltstående blå søjler i figur 8.

Det er karakteristisk at der kun er en forskel på en uge i tidspunktet for vækstsæsonens afslutning, når man sammenligner de tre år. En forsinket start på vækstsæsonen betyder en kort vækstsæson, men

det har også konsekvenser for det samlede CO₂-optag. Solstrålingen omkring Sankt Hans giver normalt optimale vækstbetingelser. I midten af juli er strålingsmængden faldet til ca. 90% og i midten af august yderligere til ca. 66%. Sen snesmeltning og dermed lave temperaturer betyder at planterne går glip af den bedste vækstperiode omkring midsommer. Det er derfor heller ikke underligt at det største CO₂-optag på en enkelt dag – dvs. de mest negative værdier – er målt i starten af juli i det meget

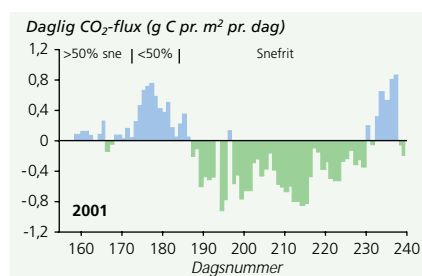
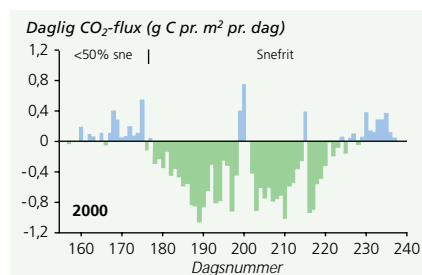
tidligt snefrit år 2000, hvor der var et nettooptag på 1 g C pr. m² pr. dag. I de to år med "normal" vækstsæson nåede nettooptaget derimod kun henholdsvis 0,6 og 0,8 g C pr. m² pr. dag.

Ud fra de tre kurver er det muligt at sammenfatte følgende reaktionsmønster: Sen snesmeltning → forsinket vækstsæson → kort vækstsæson → mindre dagligt optag → mindre CO₂-optag i vækstsæson.



Figur 8

Udvekslingen af CO₂ mellem økosystemet og atmosfæren i hver af de tre måleår. Negative værdier betyder at økosystemet har et netto CO₂-optag og positive værdier betyder netto CO₂-udslip. Se teksten til figur 6 for yderligere forklaring. Dagsnummeret angiver dage efter Nytår. Nr. 182 er den 1. juli.



Tabel 2
Karakteristika for de tre år med målinger på heden.

Måling	1997	2000	2001
Begyndelsen på vækstsæsonen	15. juli	24. juni	6. juli
Afslutningen på vækstsæsonen	21. august	13. august	18. august
Vækstsæsonens længde (antal dage)	37	50	43
Måleseriens begyndelse	7. juni	6. juni	8. juni
Måleseriens afslutning	25. august	25. august	27. august
Netto C-udveksling i vækstsæson (g C pr. m ²)	(-) 12,7	(-) 22,7	(-) 19,1
Største daglige C-akkumulation (g C pr. m ² pr. dag)	(-) 0,7	(-) 1,08	(-) 0,94

I figur 9 er den akkumulerede kulstofudveksling over hele måleperioden vist for hvert af de tre år, og i tabel 2 er de vigtigste karakteristika for CO₂-udvekslingen opsummeret. Hvis man sammenholder akkumulationen over måleperioden med det beregnede udslip på ca. 6 g C pr. m² pr. vinter, så viser beregningerne at der i de to år med sen snesmeltning er næsten 0-balance, mens der i år 2000 bliver opmagasineret kulstof på heden – ca. 13 g C pr. m² pr. år. Dette kan sammenlignes med at CO₂-akkumulationen i en dansk bøgeskov er ca. 200 g C pr. m² pr. år.

CO₂ og klima

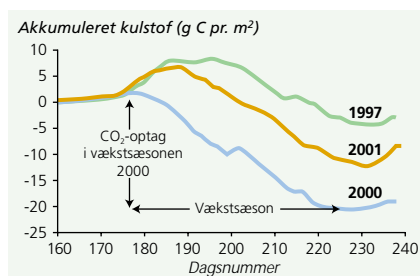
De nye målinger fra Zackenberg er med til at øge vores kendskab til CO₂-udvekslingen

i Arktis. Hidtil har beregninger af CO₂-udvekslingen bl.a. bygget på detaljerede målinger fra Alaska hvor den gennemsnitlige sommertemperatur er 3-4° C højere end ved Zackenberg. Omfattende målinger i Canada og det nordlige Finland stammer fra områder hvor temperaturen i den varmeste måned er endnu højere med et gennemsnit på mere end 10° C og derfor ikke arktiske (se boks 1).

Målingerne fra Zackenberg er – sammen med to års målinger på Svalbard – de eneste kontinuerte observationer i det højarktiske område. Målingerne viser at hvis snesmeltningen først sker i løbet af juni og eventuelt først i begyndelsen af juli, betyder det at planteproduktionen mister de største strålingsmængder (omkring Sankt Hans). Dette

medfører naturligvis at de forudsagte større snemængder i Nordøstgrønland også vil påvirke økosystemets kulstofbalance.

Målingerne af temperaturen i Nordøstgrønland viser at temperaturen er steget svagt over årene (se boks 2), men effekten heraf på CO₂-optaget er meget begrænset i forhold til sneens betydning. Hvis man sammenholder variationerne i CO₂-udvekslingen i løbet af året, så er det tydeligt at der er store variationer. Inden man får draget alt for vidtgående konklusioner, er det derfor nødvendigt med oplysninger om CO₂-udvekslingen der omfatter flere år.



Figur 9

Mængden af kulstof (C) der er optaget i økosystemet i hver af de tre år. Det fremgår tydeligt at der er meget stor variation fra år til år, hvor det største optag skete i det tidligt snefrie år 2000 hvor vækstsæsonen var længere end i både 1997 og 2001 (se tabel 2). Dagsnummeret angiver dage efter Nytår, nr. 182 er den 1. juli.



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

Snedækket bestemmer plantesamfundenes udbredelse og produktion

Foto: Aurora Photo/Wads Forchhammer



Kapitel 5

Af Mikkel P. Tamstorf, Afdeling for Arktisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser og Christian Bay, Botanisk Museum, Københavns Universitet

Snedækkets varighed og udbredelse er vigtige faktorer for vegetationens etablering og sammensætning i et landskab. En forandring i nedbørsmængden vil ændre levevilkårene for planterne, og nogle vegetationstyper vil brede sig på bekostning af andre. Dette vil få indflydelse på mængden og tilgængeligheden af føde for de planteædende pattedyr, fugle og insekter. Ved løbende undersøgelser af vækstsæsonerne ved Zackenberg med blandt andet satellit er det muligt at følge ændringer i snedækket og dets indflydelse på planterne.

Mange plantearter

Zackenbergområdet ligger i den sydlige del af Højarktisk (se boks 1), og i plantegeografisk sammenhæng benævnes området den mellemarktiske zone, da her er langt mere frodigt end i det mere ekstreme Højarktisk i Nordgrønland. Der findes både sydligt og nordligt udbredte arter i området, og det har den højeste mangfoldighed af blomsterplanter blandt de velundersøgte områder i det nordlige Grønland. Vi kender i dag 152 arter af blomsterplanter og karsporeplanter i området omkring Zackenberg, og det må derfor betegnes som artsrigt sammenlignet med Grønlands totale artsantal af disse plantegrupper på godt 500.

Det høje artsantal er udtryk for at landskabet er meget varieret med både lavlands- og højlandsområder som indeholder mange biologiske nicher, samt at området ligger mellem den oceaniske yderkyst og det kontinentale indland nær Indlandsisen, og derfor indeholder arter fra begge disse områder (se boks 7).

Overvågning af plantesamfundenes artssammensætning og udbredelse

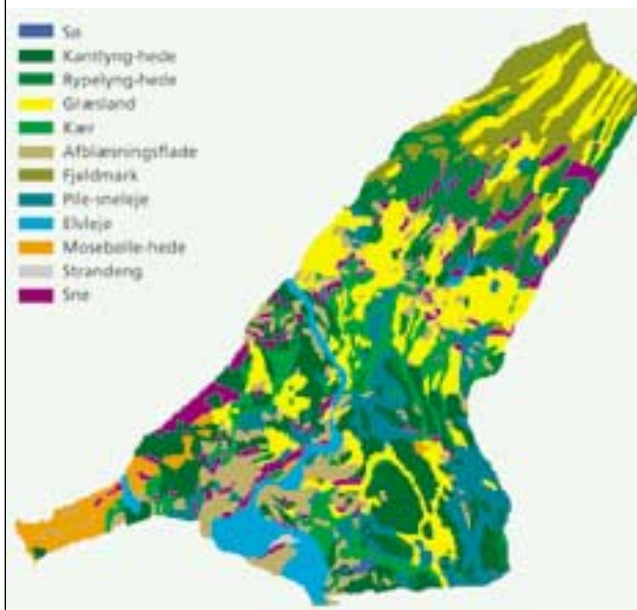
Vi har kortlagt vegetationen i det primære studieområde på 19 km² omkring forskningsstationen og op til 600 meters højde på Aucellabjerg (figur 10). Med udgangs-

punkt i denne kortlægning er det muligt at følge klimaændringernes indvirkning på vegetationen – plantesamfundenes artssammensætning og udbredelsen af vegetationstyper.

Plantesamfundenes udbredelse og artssammensætning bliver fulgt ved hjælp af satellitbilleder og mere detaljerede feltundersøgelser langs en 8,8 km lang transekt (linie) fra kysten og op til toppen af Aucellabjerg, den såkaldte ZERO-linie (se figur 11). Det er kun de første 6,5 km af denne transekt der er målt op med GPS, og derfor dækker analyserne i denne artikel kun denne del af transekten.

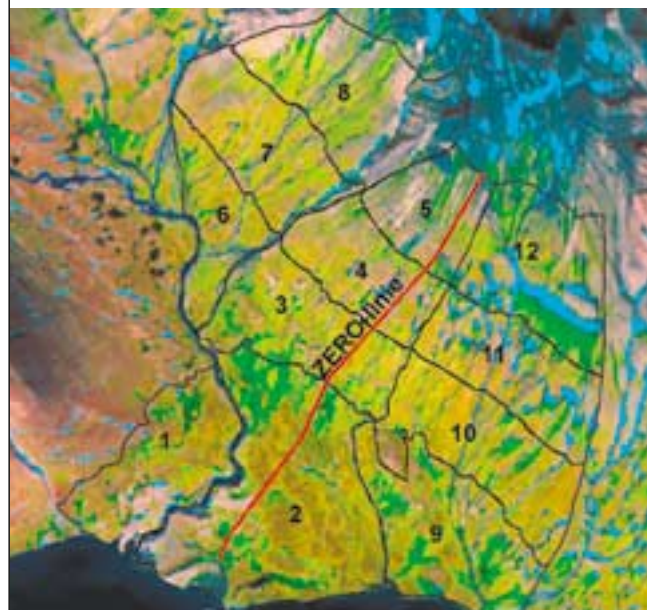
Figur 10

Udbredelsen af de vigtigste plantesamfund i den centrale del af Zackenbergdalen.



Figur 11

På dette SPOT satellitbillede fra den 31. juli 2001 har vi indtegnet de 12 overvågningsområder for frodighed og snedække som er udlagt i Zackenbergdalen. Den røde linie er ZERO-linien. Ved den anvendte kombination af satellitkanaler repræsenterer de grønne farver frodig vegetation, de brune farver er kantlyng- og rypelyng-hede og de lyseblå områder er sne.



Boks 7

Plantesamfundene ved Zackenberg

Plantearter stiller forskellige krav til deres voksested, og de er derfor ujævnt fordelt i landskabet. Jordens indhold af vand og næringsstoffer, snedækkets tykkelse og varighed samt topografiske forhold er afgørende fysiske forhold for planterne. Et tykt snedække vil være længere tid om at smelte om foråret, og dermed bliver den snefrie vækstsæson forkortet. I Arktis er længden af vækstsæsonen en vigtig faktor for plantearternes fordeling i landskabet.

De fleste arter har brug for at være snedækkede en vis periode hver vinter, så sneen kan beskytte de overjordiske dele mod frost og udtørring. Sneen beskytter også planterne mod flygende snekrystaller der nærmest virker som sandblæsning på blotlagte plantedele.

De mest produktive plantesamfund findes de steder i terrænet hvor der er et tykt, konstant snedække, og hvor den snefrie periode er relativt lang, så planterne får tilført energi fra solen i en længere periode. En større snemængde afgiver også mere vand til planterne. Dette er afgørende da mængden af nedbør i vækstsæsonen nogle år er så lav som 15 mm, og vandet i dybere jordlag er bundet på grund af permafrost. Kun den øverste meter af jordoverfladen tør hver sommer og bidrager med vand til planternes vækst. De optimale vækstbetingelser findes på sydvendte skrånninger nedenfor snefaner der frigiver vand gennem hele vækstsæsonen. Her finder man oftest de mest frodige plantesamfund.



Foto: Christian Bay

Arktisk pil er en vidt udbredt planteart i Nordøstgrønland. Planten udgør en væsentlig del af fødegrundlaget for områdets planteædere – moskusokser, sneharer og Halsbåndlemminger.

Der er i alt beskrevet ni hovedtyper af plantesamfund ved Zackenberg. Som overalt i Grønland er hederne arealmæssigt de vigtigste. Der er beskrevet tre typer heder fra Zackenberg-området. Hver er de karakteriseret ved den dominerende dværgbuskart og deres relation til de fysiske forhold. I lavlandet under 100 meter er kantlyng-hede den dominerende type, mens rypelyng-heder tager over i højlandet.

Kantlyng forekommer på fladt og svagt skrånende terræn hvor der er et konstant snedække som smelter så tidligt om sommeren at vækstsæsonen ikke forkortes væsentligt.

Pile-snelejerne er plantesamfund der kun kendes fra Østgrønland. Arktisk pil som indgår i mange andre plantesamfund, er altdominerende i pile-snelejerne. På vindudsatte bakkedoppe findes tørbundsvegetation, og selv om den er meget sparsom, er planterne lettilgængelige for planteædere om vinteren på grund af tyndt snedække. På våd jordbund i lavlandet er kær et vigtigt plantesamfund som græsses af moskusokser og gæs. Jordbunden er mættet med vand hele vækstsæsonen, og arter af græsser og halvgræsser dominerer. På steder hvor jorden ikke er mættet med vand hele vækstsæsonen, afløses kær af græsland som har en anden artssammensætning. Langs kysten findes strandenge på beskyttede steder. Strandengene er fattige på arter – ofte kun med to eller tre arter – men de er vigtige fourageringssteder især for gæs.



Foto: Christian Bay

Snedækkets varighed betinger en forskellig længde af vækstperioden. Pile-snelejet nederst på skrånningen er dækket i længere tid af sne, og det forhindrer at frø fra den ovenfor liggende kantlyng-hede spirer.

Boks 8

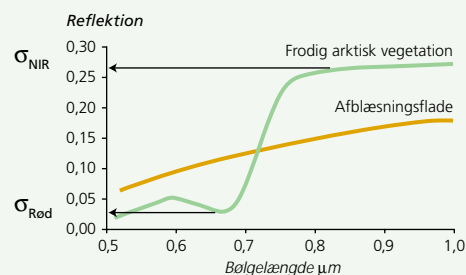
NDVI

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) er et "grønhedsindeks" der generelt anvendes til at beskrive planternes frodighed. Indeks-værdien beregnes på baggrund af refleksionen af nærinfrarødt og rødt sollys fra en flade (se *figuren*). Teorien bag indekset baserer sig på at klorofyl absorberer en stor del af strålingen i det røde spektrum, mens cellestrukturen i vegetationen medfører en høj refleksion i det nærinfrarøde spektrum. Højere grad af vegetationsdække betyder mere klorofyl og kraftigere cellestruktur hvorved NDVI forøges.

$$NDVI = \frac{\sigma_{NIR} - \sigma_{Rød}}{\sigma_{NIR} + \sigma_{Rød}}$$

Formel

σ_{NIR} er refleksionen af sollys i det nærinfrarøde spektrum, og $\sigma_{Rød}$ er refleksionen i det røde spektrum. NDVI giver værdier mellem -1 og +1. Flader der er dækket af vegetation, har oftest værdier over 0,1.



Spektralsignatur for en frodig arktisk vegetation (kær domineret af polarkæruld) vist ved den grønne kurve og for en arktisk afbløsningsflade vist ved den brune kurve. Det typiske spring i vegetationskurven ved 0,7 μm skyldes klorofyl og cellestruktur, og kaldes for vegetations-springet. De vandrette pile angiver refleksionen af sollys fra den frodige arktiske vegetation for henholdsvis det nærinfrarøde (σ_{NIR}) og det røde ($\sigma_{Rød}$) spektrum.

Mange satellitter (f.eks. Landsat, SPOT og NOAA) måler refleksionen af stråling i de røde og nærinfrarøde spektre hvorved det er muligt at beregne NDVI. Satellitterne har i dag en opløsning, så mindste enhed i billedet er 4x4 m, og det er derfor muligt at anvende satellitbilleder til at overvåge selv små nicher i vegetationen.

Alle grænserne mellem de forskellige plantesamfund langs transekten er markeret med i alt 129 nummererede pæle. Arts-sammensætningen for hvert enkelt plantesamfund er registreret indenfor 1/10 m² omkring 10 faste punkter i hvert af de 130 plantebælter. Plantesamfundene ændrer sig formentlig relativt langsomt, og disse analyser vil derfor kun blive gentaget med fem års mellemrum, så man kan følge eventuelle forandringer i såvel udbredelse som artssammensætning af plantesamfundene.

Vores korte undersøgelsesperiode i Zackenberg betyder at vi endnu ikke har kunnet påvise eventuelle ændringer, men en undersøgelse af karplanternes højdemæssige udbredelse på Clavering Ø lige syd for Zackenberg som blev gennemført af Fritz Schwarzenbach i sommeren 2001, viste at hele 22% af arterne blev fundet op

til 100 meter højere oppe ad bjerget end for 70 år siden da de første registreringer blev foretaget. Dette viser at den temperaturbestemte højdegrænse for et større antal arter er rykket markant opad på bjerget, sandsynligvis som følge af en stigning i sommertemperaturen (se *kapitel 1*).

Grønhedsindeks bruges til at overvåge vegetationens frodighed

Selv om plantesamfundenes udbredelse og artssammensætning formentlig kun ændrer sig langsomt, er der stor forskel på væksten fra år til år. For at kunne følge denne variation registrerer vi plantedækkets "grønhed". "Grønheden" er udtryk for plantedækkets frodighed hvert år. Registreringen foregår dels ved hjælp af satellitbilleder taget omkring det tidspunkt i vækstsæsonen hvor plantedækket er fuldt udviklet (omkring

månedsskriftet juli-august), dels ved direkte registrering i felten en gang om ugen i 26 udvalgte prøvefelter.

Vi anvender et grønhedsindeks, NDVI (se *boks 8*), når vi registrerer frodigheden. Områder uden planter får en lav værdi (<0), mens områder med levende plantedække typisk har værdier over 0,1. På figur 12 er snedækket den 10. juni og frodigheden (NDVI) den 31. juli vist for områderne 2, 4 og 5. Områderne ligger henholdsvis i lavlandet, lidt oppe ad Aucel-labjerg og helt oppe på skråningen (se *figur 11*), og de repræsenterer således forskellige højdeniveauer og dermed også forskellige sammensætninger af plantesamfund. Snedækket er generelt mindre i højden den 10. juni, hvilket skyldes kraftigere blæst heroppe. Desuden kan temperaturinversioner (vejrforhold, hvor temperaturen i modsætning til normalt, stiger

med højden) i forårsperioden medføre temperaturer over 0° C i højlandet, mens lavlandet stadig har frost. Specielt i 1995 var der væsentligt mindre sne i højlandet (20% snedække) end i lavlandet (93%). Frodigheden den 31. juli samme år var dog ikke forskellig fra de efterfølgende år hvor der i starten af juni var helt op til 70% snedække. Kun den meget snerige og kolde sommer i 1999 medførte lavere NDVI-værdier i højlandet. NDVI-kurverne har som forventet de laveste værdier i højden og de højeste i lavlandet, og forskellen mellem de tre viste områder er da også statistisk signifikant. Svingningerne i NDVI i den viste periode er i lavlandet på 0,10 mellem det mindst og det mest frodige år, mens de i højlandet når 0,16.

En analyse af forskellene i frodighed for 31. juli for alle regioner i perioden 1995-2000 viser samstemmende at værdierne var specielt lave i 1999 i forhold til de andre år.

2000 havde et væsentligt lavere snedække den 10. juni end flere andre år, men det medførte ikke signifikant højere NDVI end perioden 1995-1998.

Vi har også brugt ZERO-linien til at følge ændringer i frodigheden fra år til år langs en kontinuerlig højdegradient (figur 13). NDVI varierer meget langs ZERO-linien, men NDVI aftager generelt i begge år med cirka 0,15 NDVI langs linien og dermed højden. De to valgte år – 1999 og 2000 – er vist fordi 1999 havde meget sen snesmeltning og 2000 en meget tidlig snesmeltning og dermed længere vækstsæson. Som nævnt medførte denne længere vækstsæson dog ikke højere NDVI-værdier end i perioden 1995-1998.

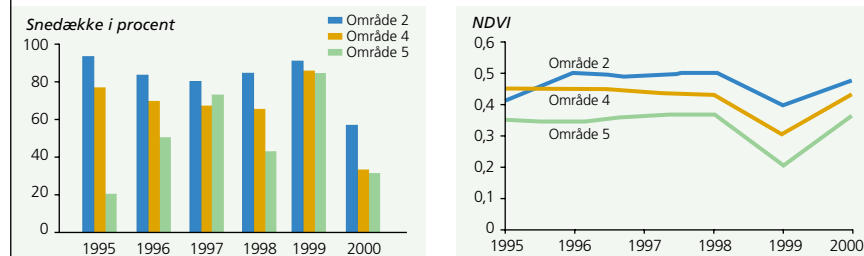
De ni store dyk i NDVI – specielt udpræget i 1999 – skyldes at nogle felter på skråningen af Aucellabjerg stadig var dækkede af sne eller at sneen først var smeltet sent på sæsonen, så vegetationen ikke hav-

de nået at blive grøn i juli måned. I 1999 var disse områder væsentligt mere dominerende på skråningen, og det medførte værdier på 0, mens NDVI-værdierne i sent afsmeltede områder var op til 0,4 lavere end i 2000. Generelt ligger NDVI-værdierne i 1999 cirka 0,05-0,10 lavere end i 2000. Kun i højlandet ved enden af ZERO-linien havde 1999 højere værdier end 2000. Det skyldes muligvis den større vandtilførsel som følge af længerevarende snedække. Disse områder tørrer ellers ud tidligere på sæsonen hvorefter vegetationen visner.

Vi har altså set at frodigheden er størst når planterne har haft en lang vækstperiode fordi sneen er smeltet tidligt væk (se også kapitel 4).

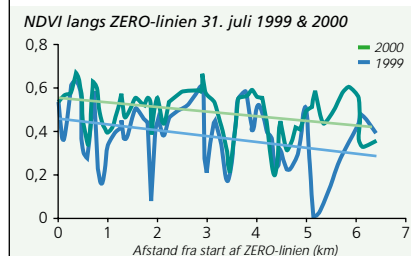
Figur 12

Både snedække og vegetationens "grønhed" (NDVI) varierer fra år til år og med højden over havet. Her er snedækket den 10. juni og NDVI den 31. juli for overvågningsområderne 2, 4 og 5 (se figur 11) vist for undersøgelsesårene 1995-2000, og det fremgår at snedækket var størst og "grønheden" lavest i 1999 – specielt i de højestliggende områder (område 5). Den ringe snemængde i 2000 gav derimod ikke anledning til større "grønhed".



Figur 13

Vegetationens "grønhed" i to udvalgte år (1999 og 2000) udtrykt ved NDVI (se boks 8) kontinuerligt langs ZERO-linien den 31. juli. Det ses at "grønheden" aftager med højden, og at den var tydeligt lavere i det sent snefrie år 1999 end i det tidlige 2000.



Også vækstsæsonens forløb varierer

Hver uge måler vi "grønheden" for forskellige vegetationstyper i 26 udvalgte analysefelter. Oplysningerne bliver brugt til at fastlægge forløbet og kulminationen på vækstsæsonen. Plantefelter med stor hyppighed af følgende plantearter bliver overvåget: Dværgbuskene kantlyng, grønlandsk rype-lyng og arktisk pil, samt urterne fjeldvalmue, purpurstenbræk og tuelimurt og endelig polarkæruld (se kapitel 6).

Datoen for kulminationen af vegetationen fastlægges ved at tilpasse en parabel til de ugentlige målinger af NDVI. Derved kan kulminationen, starten af vækstsæsonen samt afslutningen på vækstsæsonen beregnes. Ved de målte vegetationstyper passer modellen på et 99,9% konfidensniveau med en korrelationskoefficient bedre end 0,8 (se resultaterne i tabel 3).

Vækstsæsonen både startede og kulminerede senere i 1999 end i 2000. Således startede vækstsæsonen for kantlyng næsten fire uger tidligere i 2000 i forhold til 1999, mens forskellen kun var 1½ uge for polarkæruld som forekommer på vandmættede jorde.

I følge modellen er der ikke nogen forskel på længden af sæsonen mellem 1999 og 2000. Kun arktisk pil har en vækstsæson der er næsten tre uger længere i 2000 end i 1999. Vækstsæsonen strakte sig i nogle tilfælde ud over den periode hvor vi indsamler oplysninger om vækst, lysforhold m.m. Det er derfor endnu ikke muligt statistisk at påvise hverken ligheder eller forskelle mellem årene.

På trods af den senere sæsonstart er niveauet af NDVI ikke signifikant lavere i 1999 end i 2000. Tværtimod er vegetationen lidt mere frodig, om end ikke statis-

tisk signifikant, i felterne med arktisk pil og rype-lyng i 1999. Dette kan skyldes at der har været mere fugtigt i løbet af vækstsæsonen fordi sneen smeltede forholdsvis sent. (Se dog kapitel 4 for øget fotosyntese i 2000.)

Figur 14 viser forløbet af den modellede NDVI samt de målte værdier gennem vækstsæsonerne i 1999, 2000 og 2001 for kantlyng og arktisk pil. Det fremgår af figuren at vækstsæsonen i 2000 startede tidligere end i det mere normale år 2001, mens vækstsæsonen i 1999 startede relativt sent. I 2001 var frodigheden for kantlyng og arktisk pil lavere gennem hele sæsonen end i både 1999 og 2000 – den røde kurve har et lavere maksimum end den blå og den grønne. Denne forskel er dog ikke statistisk signifikant.

Kugleskulpe er en af de blomsterplanter der gror på tørre flader som i fremtiden kan blive fugtigere og dermed invaderet af andre arter.



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

Boks 9

Nordlige udbredelsegrænser ved Zackenberg

En del sydlige, lavarktiske arter møder deres nordlige udbredelsesgrænse i Zackenbergområdet. Hvis klimaet ændrer sig og temperaturen stiger vil det skabe bedre livsbetingelser for sydlige arter, som vil være i stand til at sprede sig til omgivelserne. En række af disse arter overvåges ved at registrere udvalgte populationers størrelse samt blomstrings- og frøspætnings succes. Netop blomstring er et udtryk for at en art har et energimæssigt overskud. I kolde somre er arter tæt på deres nordlige udbredelsesgrænse ikke i stand til at reproducere sig.

Grønlandsk klokke findes enkelte steder ved Zackenberg på tørre, sydvendte skrånninger. Arten er almindelig i hele den sydlige halvdel af Grønland.



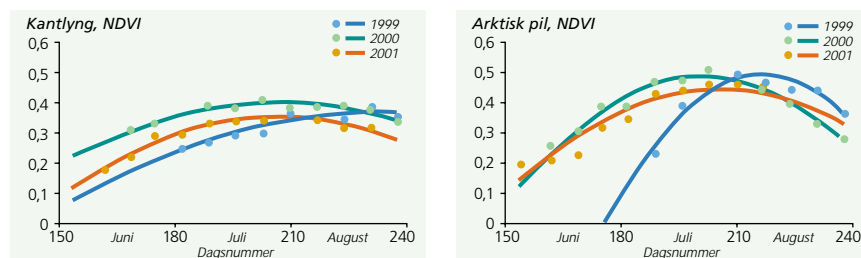
Foto: Aurora Photo/Thomas B. Berg

	Kantlyng		Arktisk pil		Polarkæruld		Grønlandsk rypelyng	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
Dato for kulmination	22. aug.	26. juli	5. aug.	21. juli	1. aug.	22. juli	2. aug.	18. juli
NDVI ved kulminationen	0,36	0,39	0,49	0,48	0,59	0,59	0,38	0,35
"Sæson"-start*	22. juni	31. maj	4. juli	8. juni	18. juni	9. juni	25. juni	9. juni
"Sæson"-længde	99	96	57	76	82	80	63	62

Tabel 3.

Resultatet af modellens beskrivelse af vækstsæsonen for fire udvalgte plantefelter i 1999 og 2000. *) angiver dato for NDVI = 0,2. Sæsonlængden er angivet i antal dage.

Den store forskel mellem det sent snefrie år 1999 og det tidlige 2000 ses tydeligt især for datoen for sæsonstart og -kulmination, mens der er forbavsende lidt forskel på kulminationens størrelse og sæsonens længde for flere af arterne.



Figur 14

Målt og modelleret NDVI gennem vækstsæsonerne 1999, 2000 og 2001 for planterarterne kantlyng og arktisk pil. Dagsnummeret angiver antallet af dage fra 1. januar, nr. 182 er den 1. juli.

Store ændringer i vente

De forventede klimaændringer med mildere vintre og mere nedbør vil få stor betydning for plantesamfundenes udbredelse og vækst. Nogle arter vil blive fortrængt fra deres nuværende voksested, mens andre vil udvide deres udbredelsesområde. En væsentlig ændring bliver fordelingen af de arealmæssigt vigtige plantesamfund, kantlyng-hede og pile-sneleje. Længden af den snefrie periode er en vigtig plante-fordelende faktor i Arktis (se boks 7). Der-

for vil mere sne og dermed et tykkere lag sne ændre den arealmæssige udbredelse af disse plantesamfund. Der er en markant grænse mellem dem, idet pile-sneleje klarer sig bedre i lavninger og nederst på skrånende terræn hvor sneen ligger længere, mens kantlyng-hede har brug for en længere snefri periode, og dermed en længere vækstsæson. I lavlandet vil kantlyng-hede således blive fortrængt til fordel for pile-sneleje. Pil er hovedbestanddelen i moskusokser, sneharers og lemmingers

føde. Kantlyng har derimod ikke nogen ernæringsmæssig værdi. Et varmere klima vil derfor forbedre fødegrundlaget for disse dyr, mens et tykkere snedække vil gøre det vanskeligt for moskusokser og sneharer at nå ned til føden om vinteren (se kapitel 10). De områder der i dag er tørre gennem vækstsæsonen, vil blive mere fugtige, så forskellige hedetyper kan brede sig til disse områder.

Blomsterne må vente på at sneen smelter og på varmen



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

Kapitel 6

Af Per Mølgaard, Danmarks Farmaceutiske Højskole, Mads C. Forchhammer, Afdeling for Populationsøkologi, Zoologisk Institut, Københavns Universitet, Louise Grøndahl og Hans Meltofte, Afdeling for Arktisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser

Jo længere sneen ligger, desto færre blomster. Det er den entydige tolkning af de første års observationer af blomstringen ved Zackenberg. Det gælder især for kantlyng og fjeldvalmue, men purpursenbræk og rypelyng har samme tendens. Tidlig snesmeltning giver signifikant flere blomster og har en langt større indflydelse på blomstringens forløb end temperaturen. Effekten af en høj temperatur ses ofte først året efter hvor planterne har øget blomstring, især hos kantlyng. Hvis en klimaforandring medfører mere sne og længere sneleje, giver det en kortere vækstperiode og dermed en dårligere foreringsevne for planterne.

Rypelyng i blomst.

Variierende antal blomster

Dette afsnit fokuserer på planternes blomstring og den påvirkning, snesmeltning og sommertemperaturer har på udviklingen af blomster, og dermed på planternes evne til at sætte frugter og frø. Ved hver uge at tælle antallet af knopper samt udprungne, visne og afblomstrede blomster med modne frø for seks plantearter i sammenlagt 25 afmærkede felter kan vi sammenligne blomstringsforløbet og den totale blomstersætning år for år. Vi kan også sammenholde oplysningerne med snedækkets varighed og med temperaturerne ved jordoverfladen. Temperaturerne måles af en datalogger en gang i timen i hvert felt, og her bruger vi summen af de positive døgn-gennemsnit for hele vækstsæsonen samt for de forskellige etaper i blomstringen som

mål for den energi planterne får tilført. For hvert år har vi valgt to fikspunkter – nemlig den dag hvor 50% af sneen er smeltet i hvert felt, og den dag hvor 50% af årets blomster er sprunget ud.

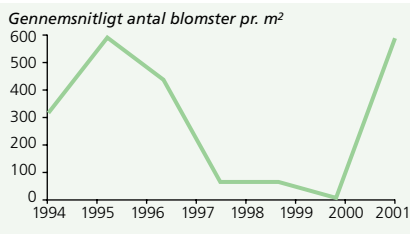
De valgte planter er alle vidt udbredte og typisk arktiske arter. Der er dværgbuske, urter og græsagtige planter, så flere morfologiske typer er repræsenteret i opgørelsen. I dette kapitel har vi valgt at se på kantlyng og rypelyng (dværgbuske) samt fjeldvalmue og purpurstenbræk (urter). Arktisk pil, tuelimurt, polarkæruld og mørk kæruld indgår også i programmet, men bliver ikke behandlet her. Figur 15 viser hvor stor variation der er i blomstertallet for kantlyng fra år til år. Det samme mønster gælder i variierende udstrækning for de andre arter.

Snedækket bestemmer blomstringstidspunktet og antallet af blomster

Fjeldvalmuen er den art der bruger længst tid på at udvikle blomster efter at sneen er smeltet. Valmuerne i de enkelte felter reagerer også meget ensartet de enkelte år sammenlignet med den variation vi finder hos de andre arter. Purpurstenbræk vokser mest på helt snefri steder, og den kommer altid først. Allerede en uge efter at den gennemsnitlige temperatur for et døgn er over 0°C – eller at sneen er smeltet – er halvdelen af blomsterne sprunget ud. Kantlyng og rypelyng blomstrer tre til fire uger efter snesmeltningen, og fjeldvalmue altså sidst med op til fem ugers udviklings-tid.



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

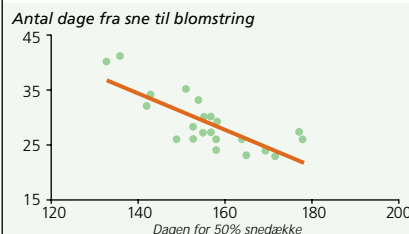


Figur 15

Antallet af blomster hos kantlyng svinger meget voldsomt fra år til år. Det skyldes primært forholdene på voksestederne året før, hvor blomsterknopperne bliver udviklet (se boks 10). Grafen viser det gennemsnitlige antal blomster pr. m² i seks felter, så tætheden er stor i topårene.

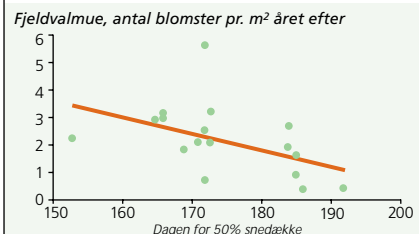
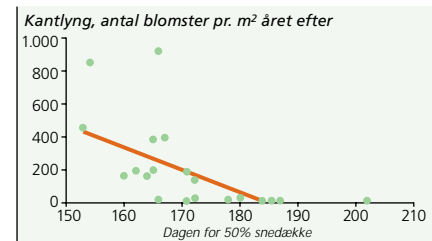


Foto: Aurora Photo/Thomas B. Berg



Figur 16

Analysen af oplysninger fra BioBasis viser, at rypelyng kan kompensere ganske betydeligt for en sen snesmeltning ved at udvikle blomsterne meget hurtigere. Dagen for 50% snedække er antal dage efter Nytår, nr. 182 er den 1. juli.



Figur 17

Kantlyng og fjeldvalmue har meget tydelig fordel af tidlig snesmeltning, men resultatet ses først året efter som et stort antal blomster. Samme tendens ses for rypelyng og purpurstenbræk, men den er ikke statistisk signifikant. Forklaringen er, at anlæg af blomster sker året før udspring (boks 10). Dagen for 50% snedække er antal dage efter Nytår, nr. 182 er den 1. juli.

Boks 10

Blomsterknopper anlægges året før blomstringen

Hos kantlyng og mange andre arktiske planter bliver både blomster- og bladknopperne anlagt et år før de springer ud. Derfor har tidspunktet for snesmeltning det år knopperne anlægges stor betydning for mængden af blomster året efter, og ikke forholdene det år vi ser blomsterne (se figur 17).

De blomsterknopper der er anlagt i år, vil altså udvikle sig til blomster året efter – med mindre der kommer et meget langvarigt snedække eller særligt lave temperaturer om foråret (se figur 18 på side 46). Oversomrende knopper kan udvikle sig det efterfølgende år – altså to år efter at knoppen blev dannet – hvis de ikke har taget skade i løbet af ventetiden. Derfor kan vi også se en rig blomstring i normale år efter år med dårlige vækstforhold. Dette vil naturligvis vanskeliggøre tolkningen af den komplekse sammenhæng mellem sne, temperatur og blomstring.

Lav temperatur er sandsynligvis den begrænsende faktor for kantlyng i højarktiske omgivelser. Det betyder at tidlig snesmeltning giver ekstra mulighed for vækst. Det skyldes

Antallet af blomster hos kantlyng bestemmes i høj grad af snesmeltningen året før, idet blomsterknopperne anlægges året før de kommer til blomstring. Jo tidligere snesmeltning, jo flere blomster året efter.

primært at planterne får mulighed for at opnå ekstra indstråling, og det har indflydelse på intensiteten af blomstringen. Tidlig snesmeltning medfører også at planterne får en længere vækstperiode, og specielt i den tidlige fase hvor indstrålingen er stor, vil det være gunstigt for planterne. Væksten er således begrænset af sne og kulde tidligt i vækstperioden (maj-juni) og af mangel på lys sent i perioden (august-september).



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

Det er klart at der er en tæt sammenhæng mellem dagen for 50% snesmeltning og dagen for 50% blomstring: Jo senere sneen smelter desto senere blomstrer planterne – og det gælder for alle fire plantearter. Men de reagerer forskelligt med hensyn til den tid der går fra snesmeltning til blomstring. For rypelyng varierer antallet af dage mellem snesmeltning og blomstring stærkt, alt efter hvornår sneen smelter (figur 16). Dvs. at jo senere sneen smelter, desto kortere er den tid der går inden blomstring. Det gælder også for purpursenbræk, men ikke for fjeldvalmue. Den kan ikke kompensere for et sent snedække med en hurtigere blomstring.

En tidlig blomstring og et større antal blomster medfører alt andet lige bedre frø-

sætning og dermed bedre spredningsevne, hvorimod sen snesmeltning giver ringere mulighed for frøsætning og reproduktion. Fjeldvalmue og kantlyng er meget følsomme overfor tidspunktet for snesmeltning (figur 17). Tidlig snesmeltning giver tydeligvis flere blomster – dog ikke samme år. Den større mængde af blomster kommer først året efter, fordi disse planter udvikler knopperne året før blomstringen (boks 10). Purpursenbræk og rypelyng har samme tendens, men den er mindre udtalt.

Temperaturen påvirker antallet af blomster

Temperatursummen er et mål for den energi der tilføres de enkelte felter målt som døgnet gennemsnitstemperatur lagt sam-

men for en given periode. 1999 var et meget koldt år og sneen lå længe, mens 2000 var meget tidligt snefrit. Der er markant forskel mellem de fire arter med hensyn til den temperatursum, vi har målt i felterne. Rypelyng og purpursenbræk vokser de varmeste steder. Her er temperatursummen dobbelt så stor som for de områder hvor kantlyng og fjeldvalmue vokser. Det hænger sammen med at rypelyng og purpursenbræk vokser på tørre, sparsomt bevoksede grusflader hvor solen rigtigt kan bage, mens vores felter med kantlyng og fjeldvalmue er mere fugtige og med tæt vegetation.

Temperatursummen fra snesmeltning til blomstring påvirker planternes blomstersætning forskelligt (figur 18). Rypelyng

reagerer meget direkte på variationer i temperatursummen i forårsperioden og sætter flere blomster i et varmt år og færre i et koldt. Kantlyng reagerer derimod først året efter (se boks 10). Rypelyng opfattes gerne som en pudeformet, meget lille dværgbusk, men i denne sammenhæng opfører den sig som en urt. Den har nemlig urternes evne til umiddelbart at udnytte en stor varmemængde tidligt i sæsonen til allerede samme år at øge blomstringen. For purpurstenbræk er der en svagere sammenhæng, mens blomstringen hos fjeldvalmue synes at være aldeles uberørt af temperatursummen såvel samme som foregående år.

Blomstringsforhold og andre påvirkninger

Det er endnu for tidligt at sige noget om cykliske svingninger i blomstringsintensiteten, men figur 15 antyder, at der godt kunne være en regelmæssig svingning

mellem år med svag blomstring og år med kraftig blomstring – som om planterne har brug for en stille periode til at samle reserver til en kraftig blomstring i et gunstigt år.

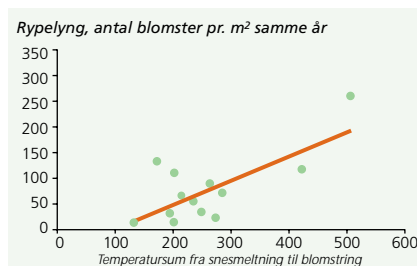
Hertil kommer at lemmingernes græsning på blomsterknopper og skud kan have stor indflydelse på antallet af blomster såvel i sommer- som vinterhabitaten (se figur 32 og 33 side 66). Kraftig lemmingaktivitet medfører at antallet af blomster hos rypelyng falder sommeren efter at der har været mange lemmingreder på hhv. sommer- og vinterlevestederne. Vi vil derfor forvente, at svingninger i lemmingbestanden også vil resultere i svingninger i blomstringen hos rypelyng samt hos arktisk pil, som er det andet vigtige fødeemne for lemminger. Sådanne svingninger vil ske uafhængigt af de førnævnte relationer til sne og temperatur.

Fjeldvalmue kan som nævnt ikke kompensere for et langt sneleje med en tidligere

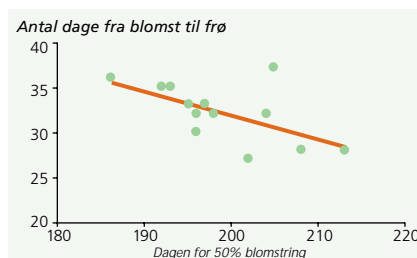
blomstring. Derimod ser det ud til at den kan kompensere senere i sæsonen med en kortere tid fra blomstring til frømodning i de år hvor den blomstrer sent (figur 19). Det må være fordi blomstringen da kommer så sent, at der er større sikkerhed for varme under selve blomstringen og efter afblomstring når frøene skal udvikles.

Mere maritimt klima vil give senere og mindre reproduktion

Hvis en klimaforandring medfører større snemængder, vil planterne blomstre senere og have langt færre blomster. Dermed vil den reproduktive kapacitet blive reduceret. Hvordan det vil påvirke fordelingen af plantearterne kan ikke ses ud fra de her foretagne analyser, men det kan tænkes at der stadig vil være tilstrækkeligt med frøproduktion i mindre snerige områder til at sikre fornyelse i bestandene af de fleste arter.



Figur 18
Varmen ved jordoverfladen har stor betydning for blomstersætningen hos rypelyng: Jo varmere planterne har det, jo flere blomster udvikler planterne. Sammenlign eventuelt med effekten af snedækkets varighed året før i figur 16.



Figur 19
Modningen af fjeldvalmuens frø sker hurtigere, når valmuerne har blomstret sent, som det her er vist ved det antal dage der går fra 50% blomster til 50% frøstande med åbne frø kapsler. Valmuerne kan altså til en vis grad kompensere for en sen snesmeltning og dermed en sen blomstring ved at udvikle frøene hurtigere i sene år. De kunne derimod ikke kompensere ved at blomstre hurtigere i år med sen snesmeltning (se teksten). Dagen for 50% blomstring er antal dage efter Nytår, nr. 182 er den 1. juli.

Insekter og edderkopper reagerer hurtigt på ændringer i klimaet



Foto: DMU/Hans Meitofte

Kapitel 7

Der fanges og sorteres hvert år mellem 35.000 og 75.000 insekter, edderkopper og andre leddyr i Zackenberg.

Af Sidsel Larsen, Zoologisk Museum, Københavns Universitet

En udvikling mod et mere maritimt præget klima i Nordøstgrønland med mere sne og mere udbredt skydække vil betyde færre arter af leddyr og en forsinkelse af sæsonen for flere grupper. Mere sne vil også give en højere fugtighed om sommeren, så de grupper af leddyr der primært er begrænsede af udtørring vil trives bedre. På den måde vil de forventede klimaændringer få stor indflydelse på artssammensætningen og aktiviteten af leddyrene. Da leddyrene er en meget vigtig fødekilde for f.eks. vadefugle, kan det få store konsekvenser op gennem økosystemet.

Boks 11

Fælderne

330.000 leddyr

Der er kun få arter af leddyr – dvs. insekter, edderkopper m.fl. – i Grønland sammenlignet med andre arktiske områder. Selv om der er lille artsrigdom, er antallet af individer imponerende, og leddyrene spiller en helt afgørende rolle som føde for blandt andet fugle (se kapitel 8) og som omsættere af organisk materiale.

Siden starten på BioBasis i 1995 er der indsamlet over 330.000 leddyr. Vi har opsat fælder i seks forskellige vegetationstyper (se boks 11), og i hvert felt indsamler vi samtidig oplysninger om temperaturen ved jordoverfladen samt snedækket. Dette enestående materiale giver mulighed for at undersøge hvilken indflydelse temperatur og snedække har på leddyrenes forekomst, aktivitet og fænologi. Da leddyrene har en kort levetid, god mobilitet og samtidig ofte har meget specifikke krav til miljøet, reagerer de næsten øjeblikkeligt på forandringer som eksempelvis temperaturændringer. På længere sigt er det muligt at påvise om der sker systematiske ændringer i mængden af leddyr, den periode på året de forekommer eller arts sammensætningen – f.eks. om arter der er tolerante over for kulde afløses af mere varmeelskende arter som følge af de forventede klimaændringer.

Udtørring og lave temperaturer begrænser aktiviteten

Sommertemperaturen har stor betydning for leddyrenes aktivitet. Edderkoppernes aktivitet (se boks 12) stiger således når sommertemperaturen stiger (figur 20 side 50). Der er tilsyneladende også sammenhæng mellem fangsten af dansemyg (se boks 13) og stikmyg (se boks 14) i vinduesfælderne og temperaturen i juli måned. Fangsten af dansemyg og stikmyg stiger når temperaturen stiger, men sammenhængen er ikke statistisk signifikant. Myggelarver udvikler

I Zackenberg benytter vi to typer af fælder til indsamling af leddyr: Vinduesfælder og faldfælder. Vinduesfælderne er "akvarier" hver med et 20 x 20 cm vindue ovenover (se foto). Flyvende insekter der rammer vinduet, falder ned i akvariet der er fyldt med saltvand som dræber og konserverer dyrene.

Faldfælderne er anbragt i sæt på otte i hvert af de fem felter der repræsenterer forskellige vegetationstyper. Hver fælde består af et gult plasticbæger på 10 cm i diameter og er ligesom vinduesfælderne fyldt med saltvand. Bægrene er gravet ned, så overkanten er i jordoverfladen (se foto).

Vinduesfælde

"Vinduet" oven på vandbassinet er 20 x 20 cm. Når flyvende insekter rammer det, falder de ned i vandet som er salt, så de dør og samtidig bliver konserveret.



Foto: DMU/Hans Meliorfe

Edderkopper og andre jordlevende leddyr falder i fælderne, mens flyvende insekter tiltrækkes af den gule farve, så de også ender i saltvandet. Fælderne tømmes en gang om ugen, og fangsten sorteres til familieniveau for de fleste grupper.

I Gadekæret er der opstillet to vinduesfælder på en lille ø i en dam og et sæt faldfælder i den frodige kærvegetation et godt stykke fra dammene. Derudover er der to faldfælde-felter på tidligt snebar hede og to på sent snebar hede.

Faldfælde

Den gule kop er gravet ned, så kanten er i jordoverfladen. Insekter og edderkopper der bevæger sig på jorden, falder ned i fælden der er fyldt med saltvand, så dyrene dør og samtidig bliver konserveret. Flyvende insekter tiltrækkes af den gule farve som de antager for at være blomster, og bliver på den måde også fanget.



Foto: DMU/Hans Meliorfe

Boks 12

Edderkopper

Blandt leddyrerne har edderkopper status som nogle af landjordens toprovdyr i Arktis. Der er otte forskellige arter af edderkopper fra fire forskellige familier ved Zackenberg: En jagtedderkop, en plantekartespinder, en krabbeedderkop og fem arter af tæppe-spindere. Det er almindeligt at familien tæppespindere dominerer rent artsmæssigt på nordlige breddegrader.

Edderkopperne har stor betydning som fødeemne for fugle. Betydningen er måske størst tidligt på sæsonen, da edderkopperne er aktive meget tidligt (se *kapitel 8*). Nogle edderkopper er aktive om vinteren under sneen, og på solrige dage i foråret kan man se edderkopperne jage ovenpå sneen.

Jagtedderkopper fæstner deres ægsæk til spindevorterne og bærer den med sig, så ægsækken ryger også med når edderkoppen går i fald-fælden.

En jagtedderkop-hun slæber altid sit ægspind med sig.



Foto: Sidsel Larsen

Boks 13

Dansemyg

Dansemyggenes larver lever hovedsageligt i ferskvand, men de findes også i mindre antal i brak- og saltvand samt i fugtig jord. De lever i eller på bunden på alle dybder i søer, floder, kilder og bække. De fleste larver lever af at filtrere vandet for mikroskopiske planter, dyr og dødt organisk materiale. Mange arter stopper med at indtage føde når de starter voksenlivet. Det bliver højt til lidt nektar fra blomster.

Jo længere nordpå man kommer, desto længere varer larvestadiet. I arktiske områder bruger alle arter et år eller mere på at fuldende deres livscyklus. Længere sydpå kan dansemyggen nå at producere adskillige generationer i løbet af et år. Dansemyggen i Grønland overvintrer som larver, og mange arter kan tåle at blive frosset ned i kortere eller længere tid.

Dansemyggen er den mest succesrige og betydningsfulde gruppe af leddyr i Arktis mht. antal af arter og produktion. De er især vigtige som føde for vadefuglenes unger, fjeldørred og spurvefugle. Jo mere ekstremt et arktisk område er, desto mere dominerer dansemyggen.

Dansemyg sværmer over et elvløb.



Foto: Jens Bøcher

Boks 14

Stikmyg

Højarktiske stikmyg er udelukkende et-årige (lever kun én sæson). Alle de udviklede stikmyg dør i løbet af efteråret og kun myggenes æg der er udtørings- og frostresistente, overvintrer. Hunnen kræver ikke nødvendigvis et blodmåltid for at producere æg, men kan klare sig med nektar og andre plantesafter – hun kan dog ikke producere nær så mange æg på denne kost som hun kan efter at have fået blod.

Larverne og pupperne af stikmyg lever i vand. Hunnymygen lægger æggene på bredden lige ovenfor vandlinien, og æggene klækker om foråret.

Hunnen af stikmyg kan godt producere æg uden at få blod, men hun kan lægge langt flere hvis hun får en blodmåltid.



Foto: Jens Bøcher

sig hurtigere, jo varmere vandet er. Stillestående, lavt vand er et specielt favorabelt levested i Arktis, fordi vandet hurtigt bliver opvarmet ved solstråling og kun køler langsomt ned i slutningen af sæsonen (se boks 15).

Temperaturen er dog ikke den eneste faktor der har indflydelse på leddyrenes aktivitet. Der er f.eks. ingen umiddelbar sammenhæng mellem aktivitet og temperatur for perlemorsommerfuglene, og hvor fangsten af dansemyg i vinduesfælderne synes at stige i takt med temperaturen, er det modsatte gældende for dansemyggene fra faldfælderne i kærret. Sne-dækket har her langt større indflydelse på forskellen i aktivitet mellem årene (figur 21). Årsagen er at kærområdet tørrer ud i løbet af sommeren, mens der næsten altid er vand i dammen omkring vinduesfælderne. Fugtighed er derfor en begrænsende faktor for dansemyggelarverne i kær-området.

I vinteren 1998/99 faldt der meget sne, og snesmeltningen var den seneste der er målt i undersøgelsesårene i Zackenberg. Den følgende sommer var der masser af vand i kærret, og i modsætning til alle andre år skete udtørringen først meget sent på sæsonen. Der blev derfor fanget flere dansemyg end nogensinde i faldfælderne. 1999 var også det år hvor der blev observeret flest stikmyg. Modningen af myg-gelarverne og -pupperne foregår i et kapløb med udtørringen af de små pytter som de lever i, og det er derfor primært snedækket der begrænser forekomsten.

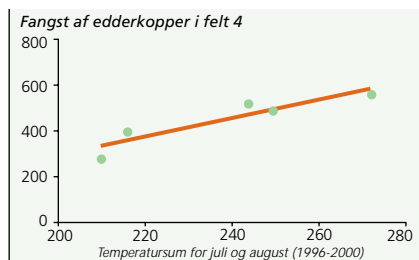
Sne giver forsinkelser

Snedækket har indflydelse på flere af leddyrgruppernes fænologi. Der er en tydelig sammenhæng mellem snedækket og tidspunktet for den største forekomst af dansemyg (figur 22). Jo længere sneen og isen bliver liggende, jo senere topper dansemyggene. En tilsvarende, men ikke stati-

stisk signifikant sammenhæng ses mellem snedækket og topforekomsten af perlemorsommerfugle. De år hvor der er udbredt snedække, bliver der i det hele taget ikke fanget særligt mange perlemorsommerfugle. Jo mere sne, jo lavere bliver fangsten (figur 23 side 52).

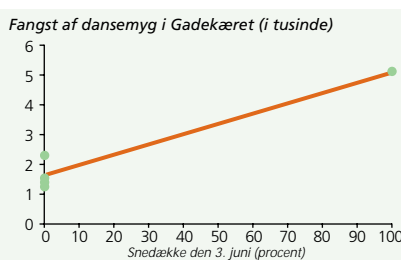
Vi ved ikke meget om perlemorsommerfuglens livscyklus – om den har en fast længde, om de snerige år resulterer i flere døde larver, eller om de kan overvintrere i et hvilket som helst larvestadium og således springe en dårlig sæson over (se boks 16). Larverne overvintrer ofte på eksponerede steder hvor der kun ophobes en lille smule sne, så de kan komme i gang med at søge føde så snart forholdene tillader det (figur 24 side 52).

I år med kraftigt snedække fanger vi flere jagtedderkopper med ægsæk. Der var dobbelt så mange ægsække pr. voksen jagtedderkop i det snerige 1999 som i alle andre år. Der er også forskel på jagtedder-



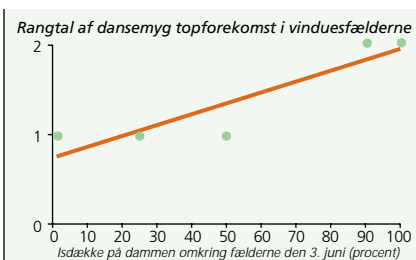
Figur 20

Sommertemperaturen påvirker leddyrenes aktivitet. Fangsten af edderkopper på sent snebar hede stiger signifikant når temperaturen stiger (mikroklimatemperaturer fra feltet).



Figur 21

Forekomsten af de dansemyg der lever i halv-våde til tørre biotoper, er ofte begrænset af vand. De år hvor sneen smelter sent, bliver der fanget langt flere dansemyg i den kærvegetation der normalt tørrer ud i løbet af sommeren (Gadekærret).



Figur 22

Jo længere sneen og isen bliver liggende, desto senere er topforekomsten af dansemyg. Rangtallene er givet så det laveste rangtal tildeles det år med den tidligste topforekomst, år med samme top-tidspunkt får samme rangtal osv.

Boks 15

Leddyrene er tilpasset det arktiske klima

Enhver der færdes i Grønlands natur, bliver hurtig opmærksom på at myggene især er på vingerne på varme og vindstille dage. Insekter er afhængige af en tilstrækkelig høj kropstemperatur for at kunne flyve – ellers kan flyvemusklerne simpelthen ikke virke. Aktiviteten stopper ofte øjeblikkeligt, når solen går bag en sky.

Under varmere himmelstrøg har insekterne for det meste en præcis døgnrytme for fødesøgning, flyvning, sværmen osv. I Arktis bliver døgnrytmen erstattet af opportunistiske reaktioner på temperaturen. Mange insekter der regnes for at være dagaktive, vil flyve under midnatsolen hvis forholdene er gode nok. Når temperaturen er for lav, eller det blæser for meget til flyvning, kravler insekterne i stedet. Sommerfuglene bliver på den måde af og til nødt til at bestøve blomsterne til fods.

På solrige dage kan der dog være meget høje temperaturer ved jordoverfladen. På sådanne dage udnytter insekterne solens varme til solbadning på jorden hvor der tillige er læ. På den måde kan de nå op på en legemstemperatur der er meget højere end den omgivende luft. Man kan således opleve sommerfuglene flyve et stykke og så mellemlande for at blive varmet op igen, så de kan flyve videre i den kolde luft (se foto).

Om foråret har solindstrålingen stor betydning, fordi solen trænger gennem snedækket og varmer insekterne op til en tidlig start på sæsonen. På samme måde starter aktiviteten i pytter og kær før islaget er forsvundet fra overfladen. Solstrålerne går gennem isen ligesom et drivhusglas og varmer bundlaget i pytten op, og det er derfor bunden af pytten der tør først. Desuden bliver vækstsæsonen udvidet, fordi vandet køler langsommere ned end det omgivende land. Selv i det yderste Højarkt is hvor der ikke er meget liv på jordoverfladen, er der forholdsvis mange smådyr i mindre pytter og kær. De dominerende leddyr i Højarkt is er de akvatiske og de jordlevende former, mens der bliver færre og færre planteædere blandt leddyrene, jo længere nordpå man kommer.

Det er ikke kun temperaturen og solindstrålingen der begrænser leddyrenes aktivitet. Generelt er der meget vind og meget lidt nedbør i de arktiske områder. Udtørring er et stort problem for leddyrene, og vinterne – sneen – isolerer mod de ekstreme vintertemperaturer (se figur 30 side 64).



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

Boks 16

Længere livscyclus

Mange leddyr i arktiske områder har en livscyclus der er længere end et år. Det kan være nødvendigt med mere end én sommer til at blive voksen, når vækstsæsonen er meget kort og resten af året tilbringes i dvale.

Larvestadiet varer et eller flere år for de fleste sommerfugle i Arktis. Sommerfuglelarverne overvintrer ofte på steder hvor der kun samles en lille smule sne om vinteren, så de kan starte med at søge føde så snart forholdene tillader det. Larverne kan godt tåle frost, så de kan overleve uden det isolerende snelag. I Zackenberg har vi observeret aktive fjeldspindel larver (se foto) ganske tidligt på sæsonen – i 1998 allerede den 1. juni.

Der findes dog også et-årige insekter ved Zackenberg. De gennemgår en hel livscyclus i løbet af en enkelt sæson fra et overvintringsstadie der enten kan være æg, larver eller voksne. F.eks. overvintrer humlebien som voksen, mens den grønlandske frøtæge overvintrer som æg. Humlebierne er aktive meget tidligt på sæsonen – de bliver set allerede fra sent i maj eller først i juni.

For mange andre leddyr finder vinterdvalen sted på et sent stadie af udviklingen, så de er klar til at blive voksne og starte reproduktionen tidligt det følgende forår.



Foto: Jens Böcher

koppernes reproduktion alt efter hvor de lever. Jo større snedække på habitatet, desto flere ægsække var der pr. voksen jagtedderkopper. Vi ved ikke hvorfor jagtedderkopperne tilsyneladende har større fertilitet i snerige år og på snerige levesteder.

Til gengæld starter reproduktionen tidligere de år hvor sneen er tidligt væk (figur 25). Reproduktionen fik således en meget tidlig start i de snefattige år 1996 og 2000 hvor de første ægsække blev fundet i fælterne allerede den 8. juli. De andre år har vi først fundet de første ægsække sidst i juli.

Antallet af arter falder

Snedækket har også betydning for artsdiversiteten (et udtryk for antallet af arter og deres indbyrdes hyppighed). Jo længere sneen bliver liggende, jo mindre synes artsdiversiteten af edderkopper at være. En stor del af forskellen kan forklares ved at vi fanger færre edderkopper i år med

mere sne. Specielt tæppespindernes aktivitet falder ved øget snedække, og denne familie er den mest artsrige i Zackenberg.

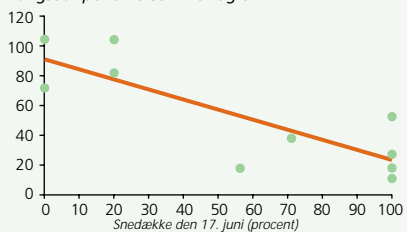
Diversiteten og artssammensætningen er forskellig fra vegetationstype til vegetationstype. Artsdiversiteten af edderkopper er lavest i Gadekæret, og artssammensætningen er her meget anderledes end på hedefelterne. Antallet af edderkopper i kæret er det højeste overhovedet, og tæppespinderne er dominerende. De andre familier af edderkopper vandrer kun ind sent på sæsonen, når området begynder at tørre ud. Det mest diverse område er et område der bliver meget tidligt frit for sne, men dog er snedækket om vinteren. De øvrige områder har nogenlunde lige stor artsdiversitet.

Fremtiden

Klimaet har altså ikke kun betydning for leddyrenes aktivitet her og nu, men det har også indflydelse på artsrigdommen. Gene-

relt er der færre forskellige arter af leddyр, jo mere skyet og snedækket et arktisk område er. Når solen får mindre indflydelse, er der ikke de samme fordelagtige temperaturer ved jordoverfladen som betyder så meget for leddyrenes aktivitet. En udvikling mod et mere maritimt præget klima i Nordøstgrønland med mere sne og mere udbredt skydække vil betyde færre arter og en kortere sæson for leddyrene. Det vil også betyde at de grupper af leddyр der lever i mere fugtige områder, vil trives bedre. Dette vil få stor betydning op gennem økosystemet. F.eks. vil en forsinkelse af sæsonen og af topforekomsten af leddyр kunne få stor indvirkning på æglægningen og mulighederne for at opfostre ungerne for de fugle der æder leddyр, bl.a. vadefuglene (se kapitel 8).

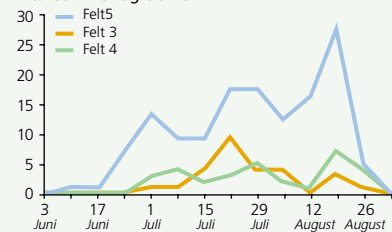
Fangst af perlemorsommerfugle



Figur 23

Fangsten af perlemorsommerfugle falder når snedækket bliver større. I snerige år fanger vi meget få perlemorsommerfugle på de sent snebare heder.

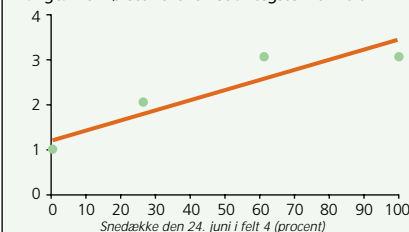
Antal sommerfuglelarver



Figur 24

Vi har fanget flest sommerfuglelarver på den tidligt snebare hede (felt 5) sammenlignet med de to sent snebare heder (felterne 3 og 4).

Rangtal for første forekomst af ægsække i felt 4



Figur 25

Jagtedderkopperne udskyder deres reproduktion hvis der er udbredt snedække. Rangtallene er givet så det laveste rangtal er tildelt det år med den tidligste topforekomst, år med samme top-tidspunkt får samme rangtal osv.

"Tropiske" vadefugle i is og sne



Foto: Koen Trappeniers

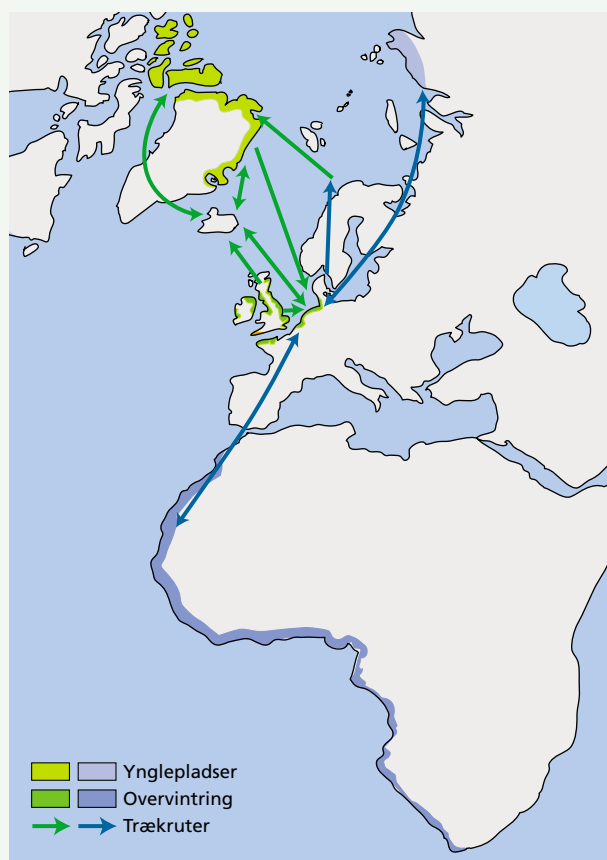
Kapitel 8

Af Hans Meltofte, Afdeling for Arktisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser

I første halvdel af juni når vadefuglene er ankommet til Nordøstgrønland og begynder at lægge æg, er snedækket af altfagørende betydning for disse fugles trivsel. Jo mere sne, desto senere kan fuglene komme i gang med at lægge æggene, desto færre æg lægger de og desto færre fugle kan der i det hele taget være i områderne. Hvis klimaændringerne bliver som forudsagt – dvs. med mere sne – vil vadefuglene sandsynligvis få forringede levevilkår og det vil resultere i mindre bestande. Mere prædation og hyppigere forekomst af ugunstige vejrforhold i løbet af sommeren vil trække i samme retning.

Sandløber med nyklækkede unger.

Vadefugle på forhindingsløb året rundt



De fleste vadefugle tilbringer 9-10 af årets måneder på vadeflader langs tidevandskyster i tempererede og tropiske områder. Deres lange ben og næb gør at de er perfekt tilpasset livet her. De kan udnytte de enorme mængder af orme, snegle, krebsdyr og muslinger der lever lige under vadernes overflade, og som bliver blotlagt ved hvert lavvande. Men kun få vadefugle kan yngle sådanne steder. Vadefugle lægger deres æg i en lille fordybning i jorden, og det er derfor let for de mange prædatorer at tømme rederne hvis de ligger for tæt. De nyklækkede unger kan heller ikke udnytte vadefladernes rigdom på føde på samme måde som de voksne fugle, der to gange i døgnet flyver frem og tilbage mellem de vidtstrakte vadeflader og højvandsrasteplasserne på land. Vadefugle fodrer nemlig ikke deres unger. Ungerne kan gå få timer efter de er kommet ud af ægget, og de må selv vandre rundt og finde deres føde.

Langt hovedparten af de 8-9 millioner vadefugle der lever langs Europas og Vestafrikas kyster, må derfor hvert forår trække de tusinder af kilometer op til Nordeuropa, Nordsibirien og højarktisk Grønland og Canada for at formere sig (se figur A for

Figur A
 Kort over trækruter og rasteplasser for de islandske ryler der yngler hhv. i højarktisk Grønland/Canada og Nordsibirien (Efter H. Meltofte & J. Fjeldså: Fuglene i Danmark).

Arktisk flaskehals

De fleste arktiske vadefugle er i virkeligheden bedst tilpassede livet på de meget føderige vadeflader langs tidevandskyster på tempererede og tropiske breddegrader. En gang om året må de imidlertid forlade "luksuslivet" i syd og trække nordpå til tundra, sne og is for at yngle (se boks 17). Her må de voksne fugle nøjes med insekter og edderkopper i stedet for de langt mere næringsrige orme, snegle, krebsdyr og muslinger, og meget tyder på at det er under disse barske forhold man skal finde en af de væsentligste "flaskehalse" i vadefuglenes livscyklus. I hvert fald har føden

og dens tilgængelighed afgørende betydning både for hvor tæt vadefuglene yngler i et område, og hvornår de lægger æg (se boks 18). "Flaskehalsen" påvirker i stor udstrækning fuglenes mulighed for at producere levedygtigt afkom, men den påvirker kun sjældent de voksne fugles overlevelse.

Relativt stabile bestande

Vadefugle lever normalt længere end andre fugle på samme størrelse. De er meget trofaste overfor de yngle-, rast- og overvintringsområder de en gang har valgt. Har de succes med yngelen ét år, er der også

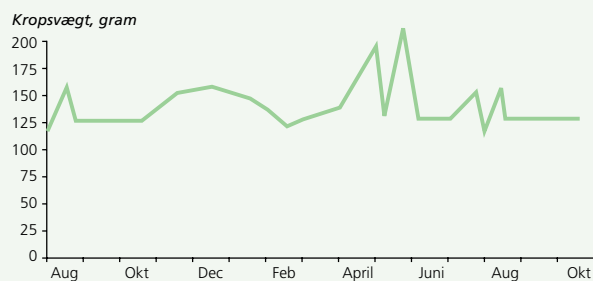
stor sandsynlighed for at de vælger det samme sted og den samme mage året efter. Men vi har kun meget få oplysninger om, hvordan bestandene af arktiske vadefugle ændrer sig fra år til år og over en længere årrække. Således fandtes der praktisk taget ingen oplysninger fra højarktiske områder før Zackenberg Forskningsstation blev etableret i 1995.

Seks års undersøgelser er ikke meget når vi skal vurdere disse forhold. De hidtidige erfaringer tyder dog på at vadefuglebestandenes størrelse ved Zackenberg varierer relativt lidt fra år til år (figur 26), især når man tager i betragtning at der er en vis

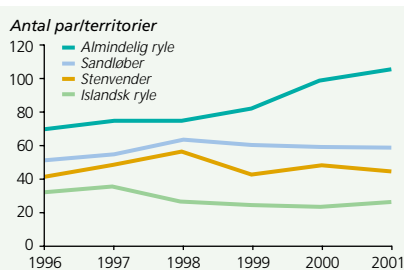
islandsk ryle). Her er der vidtstrakte fjeldheder, moser og tundra hvor de kan sprede rederne, og her er der nærmest ubegrænsede mængder af insekter og andre smådyr som ungerne kan ernære sig af under opvæksten. Tilmed betyder de barske klimaforhold om vinteren at der er langt færre prædatorer end i sydligere egne.

Men det er ikke helt uden problemer at flyve mange tusinde kilometer to gange om året. Det kræver meget store energireserver at flyve 4.500 km fra Vestafrika til Vadehavet eller de britiske tidevandsflader og herfra videre til f.eks. Island inden det endelige træk til de ofte endnu snedækkede ynglepladser i Grønland og Canada. Vadefuglens krop er derfor "programmeret" til de forskellige "opgaver" fuglene har i løbet af året, så de til enhver tid er i stand til at leve op til disse krav (se figur B for islandsk ryle). Inden fuglene skal begynde selve trækket nordpå vokser deres flyvemuskler, de lagrer store mængder fedt – brændstof – mellem tarmene og under huden, og hele fordøjelsessystemet skrumpet ind for at veje så lidt som muligt. Ved hver mellemlanding må fuglene genopbygge fordøjelsessystemet for at kunne optimere optagelsen af næring til nye fedtreserver, flyvemuskler osv. Hvert af disse forløb tager omkring tre uger – selve flyvningerne tager "kun" 1-3 døgn – afhængigt af afstanden. Til gengæld flyver de så uafbrudt med en fart på ca. 60 km i timen uden at tage hverken vådt eller tørt til sig. De får dækket deres væskebehov af det vand der bliver frigivet når fedtreserverne bliver omsat til energi.

Om efteråret bliver hele processen gentaget i omvendt rækkefølge. Bagefter skal fuglene så i gang med at fælde hele fjerdragten og opbygge lige så store næringsreserver til at modstå vinteren i Nordvesteuropa, hvis de da ikke trækker videre til mildere breddegrader i Vestafrika. Blandt Nordøstgrønlands vadefugle overvintrer de store præstekraver, almindelige ryler og en del af sandløberne i tropisk Vestafrika, mens de islandske ryler, stenvenderne og resten af sandløberne bliver i Nordvesteuropa.



Figur B
Kropsvægten året rundt for islandiske ryler fra højarktisk Grønland og Canada. De spidse toppe angiver den voldsomme vægtforøgelse umiddelbart for hvert af de lange træk forår og efterår, mens den højere vægt i vintermånederne er en "forsikring" mod perioder med dårligt vejr.
(Efter T. Piersma & N. Davidson: The migration of Knots. Wader Study Group).



Figur 26
Optællingerne i årene 1996-2001 for islandsk ryle, sandløber, alm. ryle og stenvender i det 19 km² undersøgelsesområde i Zackenbergdalen viser at bestandstørrelserne af vadefugle er forholdsvis stabile.

– ukendt – usikkerhed ved optællingerne de enkelte år. Dog lader det til at bestanden af almindelig ryle er vokset, og at islandsk ryle er gået tilbage, uden at disse ændringer endnu kan forklares. Oplysninger fra de islandske ryles overvintringsområde bl.a. på De Britiske Øer tyder dog på at bestanden har haft dårlig ynglesucces i 1990'erne.

De relativt stabile bestandstal indikerer at vadefuglene så at sige indretter sig på de gennemsnitlige eller "normale" forhold i de enkelte yngleområder. Alle de år hvor forholdene i yngleområderne er gunstige (ikke for meget sne, nok føde osv.), går fug-

lene i gang med at yngle. I særligt ugunstige år – som 1999 – undlader nogle af dem blot at yngle (se nedenfor), men antallet af fugle i området er stort set det samme fra år til år. Vadefuglene er således meget velegnede som objekter for overvågning af langsigtede ændringer i livsbetingelserne på ynglepladserne fordi eventuelle langsigtede ændringer i ynglebestandene ikke "sløres" af store år til år variationer som hos så mange andre arter.

Vadefugle i højarktisk Grønland

1999 – et ugunstigt år

Én ting er at stort set det samme antal fugle vender tilbage til yngleområdet hvert år, noget ganske andet er om de får noget ud af anstrengelserne. En række klimatiske og biologiske faktorer kan påvirke resultatet, hvoraf de mest afgørende er:

- 1 Snedækket først i juni når vadefuglene skal lægge æg, kan være så udbredt at fuglene må udskyde æglægningen. Det betyder at ungerne har kortere tid til at vokse sig store og stærke inden vinteren. Dette kan både skyldes at fuglene skal have passende store arealer at sprede rederne på, så de ikke er for lette at finde for rævene, og at det udbredte snedække forhindrer fuglene i at få mad nok (se boks 18).
- 2 Hvis æglægningen forsinkes enten pga. for meget sne eller for lidt føde, lægger fuglene færre æg.
- 3 Dele af bestandene kan undlade at yngle fordi snedækket og mængden af føde er ufordelagtigt.
- 4 Prædation fra ræve m.v. kan betyde tab af mange æg og unger.
- 5 Perioder med dårligt vejr kan betyde tab af mange æg og unger.

I Zackenberg har vi mulighed for at belyse alle disse faktorer.

I 1999 var snedækket væsentligt tykkere og mere udbredt end i de andre undersøgelsesår, og analyser af satellitbilleder viste at snesmeltningen dette år var det allersneste i de sidste 13 år. Omvendt var snesmeltningen i 1995 og 2000 blandt de tidligste i den samme periode. De ynglende vadefugle havde flere forskellige reaktioner på den megen sne i 1999 og det deraf følgende lave antal byttedyr (figur 27). For det første startede fuglene æglægningen 1-2 uger senere end i de tidligt snefrie år. For det andet lagde de i gennemsnit 5-10% færre æg

Mange arktiske fugle bringer proteinreserver med sig op til yngleområderne fra de sidste forårsrasteplasser, så de kan starte æglægningen umiddelbart efter ankomsten. På det tidspunkt er det meste af tundraen dækket af sne, og søer, damme og kyster har stadig metertyk is. Helt nye undersøgelser fra bl.a. Zackenberg viser imidlertid at det forholder sig anderledes med vadefuglene. De er helt afhængige af lokal føde i form af insekter og edderkopper for at kunne producere et kuld æg der ofte vejer næsten lige så meget som moderfuglen selv.

Derfor er både antallet af ynglende vadefugle i de enkelte områder og tidspunktet for deres æglægning stærkt

afhængigt af hvor store de snefrie vegetationsdækkede arealer er. Det er her fuglene skal finde føde de første uger efter ankomsten. Vadefuglene lægger nemlig æg så tidligt som muligt for at give ungerne den længst mulige periode til at æde sig store og stærke, inden de skal ud på det lange træk over Nordatlanten til rasteplasserne i Nordvesteuropa. Jo tidligere æggene bliver lagt, desto stærkere når ungfuglene at blive inden vinteren sætter ind i begyndelsen af september – og desto større chance har de for at overleve efterårstrækket.

Mængden af sne aftager fra syd til nord i højarktisk Grønland (se boks 1). Det samme gør mængden af vegetation. Planterne får nemlig det meste af deres vand når

Vadefuglene er den dominerende fuglegruppe på tundra og fjeldheder i højarktisk Grønland både hvad angår antallet af arter og individer. 11 forskellige arter af vadefugle yngler regelmæssigt i Grønland, og ni af arterne findes overvejende – eller udelukkende – i den højarktiske del. Disse arter foretrækker områder, hvor vegetationen er helt lav hvilket er tilfældet i højarktisk Grønland. Vadefuglene optælles på ski og snesko i juni. Stenvender.



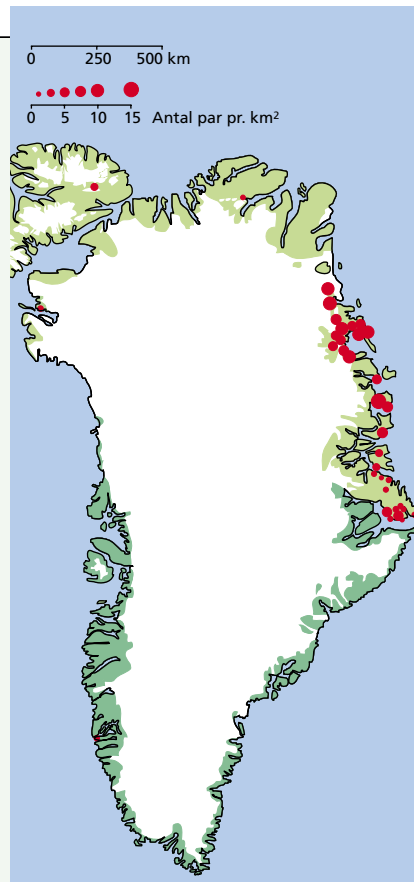
Foto: Biofoto/Erik Thomsen



Foto: Inger Mieltofte

sneen smelter. Der er derfor nærmest ørkenagtige forhold i de mest nordlige egne, hvorimod de sydlige områder er dækket af vidtstrakt tundra og fjeldhede. Resultatet er at der er meget lidt at leve af længst mod nord, mens vegetationen og dermed insekterne og edderkopperne er dækket af et tykt lag sne langt hen på foråret i de sydligste egne. Begge dele er ufordelagtige for vadefuglene. De fleste områder med gode forhold findes derfor i det centrale Nordøstgrønland hvor der er en tilpas balance mellem vegetationsdække og snedække når vadefuglene ankommer sidst i maj og først i juni (figur A).

Men de relativt få vadefugle der yngler længst mod nord i Grønland, kan lægge æg som de første af alle fordi der er meget lidt sne. Der er således en forskel på 1-3 uger mellem det tidspunkt vadefuglene lægger deres æg i de tidligst og de senest snefrie områder (figur B).



Figur A

Kort over højarktisk Grønland med tætheder af vadefuglebestande. Det fremgår at tæthederne generelt er størst i det centrale Nordøstgrønland.

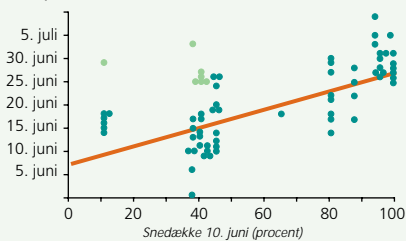
(Efter H. Meltofte: Topografisk Atlas Grønland).

Figur B

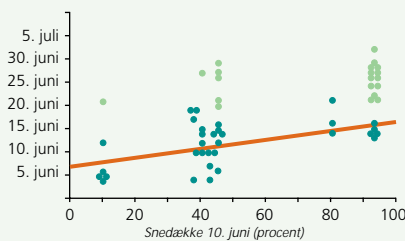
Sammenhængen mellem datoen for hvornår det første æg er lagt i forskellige områder i højarktisk Grønland i forhold til snedækket den 10. juni. Lyse prikker angiver kuld der sandsynligvis er omlagte efter tab af første kuld, og som derfor er forsinkede. Regressions-linierne inkluderer kun formodede førstekuld. Figuren viser at æglægningen starter senere, jo mere sne der er i områderne.

(Efter H. Meltofte: Meddr Grønland, Biosci. nr. 16)

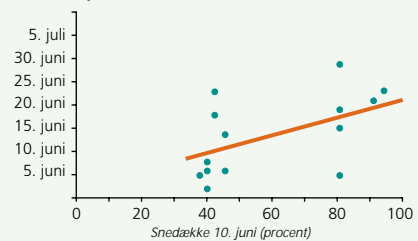
Stor præstekrave



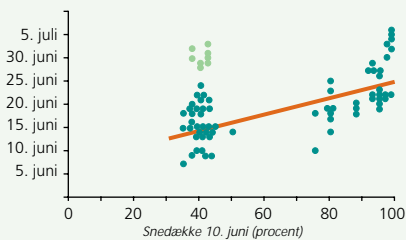
Stenvender



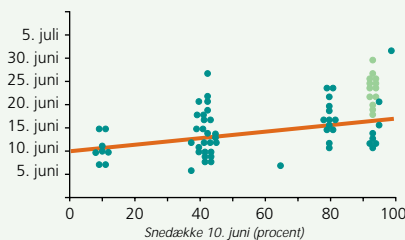
Islandsk ryle



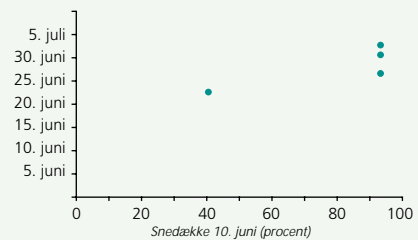
Almindelig ryle



Sandløber



Thorshane



(vadefugle lægger normalt fire æg, men dette år var der væsentligt flere kuld med to og tre æg). Endelig opgav en del af fuglene tilsyneladende helt at yngle. De strejfede rundt enkeltvis og parvis indtil de sluttede sig sammen i småflokke for at opbygge muskler og fedtreserver til trækket sydpå igen. I alle tre forhold var stenvenderne – og tilsyneladende også de islandske ryle – hårdest ramt. Vi talte da også langt færre flyvedygtige ungfugle i "opfedningsområderne" ved fjordkysten i august end normalt (figur 27). Faktisk vurderede vi at kun 30-50% af stenvenderne lagde æg i 1999.

Da stenvenderen og den islandske ryle generelt undgår snerige områder, forventede vi også at netop disse to arter ville reagere voldsomt. Det er også de to arter der tilsyneladende har haft de største kendte svingninger i bestandene i løbet af de sidste 100 år. Produktionen af unger hos de andre vadefugle var tilsyneladende ikke væsentligt påvirket. Antallet af ungfugle ved kysten i august var helt på højde med de andre år.

Lemninger, sultne ræve og tomme vadefugleleder

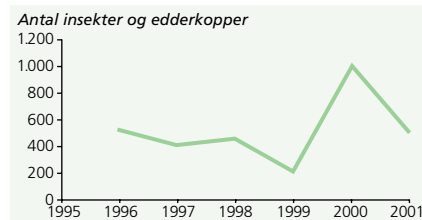
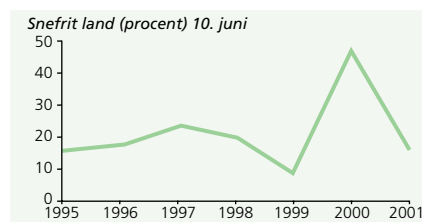
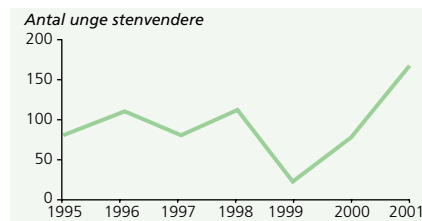
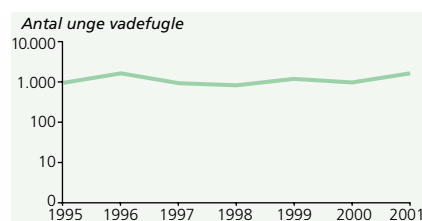
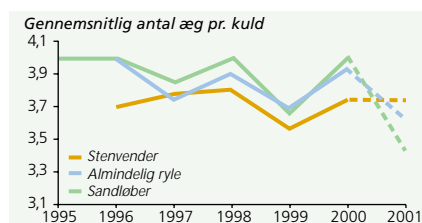
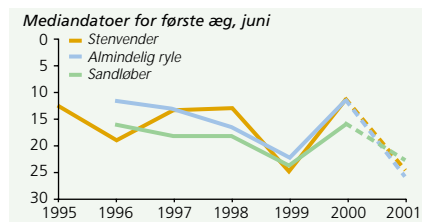
Undersøgelser af nordsibiriske vadefugle og gæs har bl.a. vist at antallet af ungfugle der dukker op om efteråret i de vesteuropæiske og afrikanske overvintringsområder er væsentlig mindre de år hvor lemmingbestanden i Nordsibirien er brudt sammen efter et såkaldt lemmingår (se kapitel 9). Årsagen er at de mange ræve der blev født og overlevede i lemmingåret, hærger blandt de jordrugende fugles æg og unger det efterfølgende år, indtil manglen på lemninger også får rævebestanden til at gå ned pga. sultedød eller udvandring.

Vi har endnu ikke kunnet påvise det samme forhold for højarktisk Grønland hvor vi ellers også ser store svingninger i antallet af lemninger. Vores hidtidige oplysninger fra Zackenberg kan heller ikke bekræfte en sådan simpel sammenhæng. Her er det tilsyneladende antallet af ræve der er aktive i undersøgelsesområdet de enkelte år der er afgørende for vadefuglenes ynglesucces.

Figur 27

Mediandatoer for første æg og ægkuldstørrelser for sandløber, alm. ryle og stenvender samt summen af flyvedygtige vadefugleunger for alle arter samlet (logaritmisk skala) og for stenvender separat optalt i deltaerne ved kysten i august i relation til sneedække i yngleområdet og lededyr fanget i fælles-fødesøgningsområdet i Gadekæret 3.-17. juni 1995-2001.

Den negative effekt af den sene snesmeltning i 1999 ses i alle parametre undtagen antallet af unge vadefugle generelt, hvor de fleste arter trods alt havde "normal" ynglesucces. Derimod havde den meget tidlige snesmeltning i 2000 ikke en tilsvarende positiv effekt. Dette år var vadefuglenes yngel blot "normal". Den sene æglægning og de lave kuldstørrelser i 2001 skyldes at de fleste fundne ægkuld dette år var omlagte efter at fuglene havde mistet første kuld pga. en snestorm midt i juni (se yderligere i teksten).



Vi besøger kun rederne få gange for at undgå at lægge duftspor som rævene kan følge. Derfor er det vanskeligt for os at få præcise tal for hvor mange reder rævene tømmer. Vores undersøgelser tyder imidlertid på at rævene de fleste år tømmer omkring en fjerdedel af de vadefuglereder, vi finder. Da vi finder rederne jævnt fordelt gennem rugetiden, kan mange af dem således være tømt inden vi har chance for at finde dem, så det er nok nærmere omkring halvdelen af vadefuglerederne der bliver tømt de fleste år. Dette uanset om der er mange eller få lemminger.

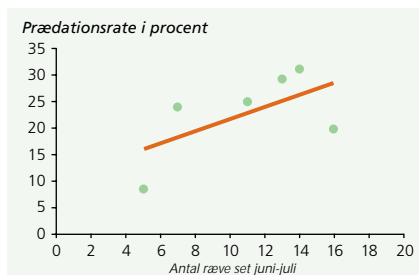
Vi kender ikke antallet af ræve der jager i undersøgelsesområdet. Men bruger vi antallet af ræve som vi har set i løbet af juni-juli – dvs. vadefuglenes rugetid – så finder vi en klar sammenhæng mellem mængden af reder som er blevet tømt og antallet af ræve (figur 28). Jo flere ræve, desto flere reder bliver tømt.

Den helt uberegnelige faktor – perioder med dårligt vejr

Snestorm midt i juni, det er hvad der kan ske netop som vadefuglene har fået lagt

deres første æg. Eller i juli når æggene er ved at klække eller ungerne er helt små. Begge dele har vi oplevet i Zackenberg i løbet af de seks år, vi har været der hele sæsonen. Og det er ikke usædvanligt for Højarktis.

Mange æg og unger – og af og til også voksne fugle – går til ved sådanne lejligheder, men ellers kan de arktiske vadefugle klare ganske vanskelige situationer. Nogle gange ruger fuglene selv om de er næsten helt dækkede af sne. Under de oversvømmelser der uvægerligt følger når sneen smelter, er det set at almindelige ryler har



Figur 28

Der er en signifikant statistisk sammenhæng mellem antallet af ræve set i undersøgelsesområdet i juni-juli og den andel af vadefuglerederne der bliver tømt af rævene. Jo flere ræve, desto flere af vadefuglerederne bliver tømt.



Figur 29

Vadefuglenes rede er en lille fordybning i jorden. De lægger oftest fire æg, og ungerne kan klare sig selv få timer efter klækningen. Både under de tre ugers rugetid og den næste lige så lange tid inden ungerne kan flyve, tager ræve og andre prædatorer formentlig over halvdelen af yngelen de fleste år. Stenvenderrede.

rejst æggene op på den spidse ende i redeskålen, så de undgik at blive afkølet for meget.

I dagene 14.-17. juni 2001 sneede det næsten uafbrudt, og i perioder blæste det kraftigt. Alle de landområder som tidligere havde været snefrie, og hvor fuglene var i gang med at danne territorier og lægge æg, blev dækket af mindst 10 cm nysne. En del af vadefuglene sluttede sig sammen i småflokke på de få snebare pletter og enkelte omkom, men allerede dagene efter havde de fleste fugle spredt sig på territorierne igen. Langt hovedparten af rederne gik til, og mange af de fugle der var i gang med æglægningen, måtte lægge æggene tilfældige steder. Vi fandt således både æg liggende spredt i terrænet og fugle, der rugede på et eller to æg mod de normalt fire. Enkelte rugede på æg hvor fostrene var døde. Mange vadefugle startede på nye kuld 6-12 dage efter snestormen, men mange – især især stenvendere og formentlig også islandske ryler – gav helt op.

I begyndelsen af juli 1997 var det koldt, regnfuldt og blæsende hvilket bl.a. resulterede i færre insekter og edderkopper. Den mindre mængde føde der hermed var til rådighed for de nyklækkede vadefugleunger, var problematisk både fordi små unger under sådanne forhold skal varmes meget mere af forældrene hvilket

resulterer i at ungerne har langt mindre tid til at søge føde end normalt, og fordi der er langt mindre føde finde. Resultatet var at to undersøgte kuld stenvendunger kun voksede halvt så hurtigt som de burde, mens unger af almindelig ryle voksede normalt. Stenvenderne var altså tilsyneladende igen de mest udsatte. På trods heraf klarede flere af ungerne sig – i hvert fald aflæste en ornitolog i Holland samme efterår ringen på en af de "underernærede" stenvendunger!

I 2000 havde vi snestorm den 17.-18. juli. De fleste vadefugleunger var helt små på det tidspunkt, og mange døde. Den klarste indikation på omfanget var at flere hundrede voksne vadefugle i dagene efter snestormen samlede sig på vadefladerne nede ved fjordkysten – de havde mistet ynglen inde på tundraen og fjeldhederne og gik omgående i gang med at opbygge næringsreserver til trækket sydpå. På trods af at store dele af det centrale og sydlige Nordøstgrønland blev ramt af denne snestorm, var der alligevel et "normalt" antal unge vadefugle på fjordkysten i august (*figur 27*). Det viser at en stor del af ungerne fra andre områder må have klaret sig godt.

Hvad vil der ske?

Der er endnu begrænset viden om vadefuglene i højarktisk Grønland, men vores arbejde i Zackenberg har allerede føjet vig-

tige brikker til forståelsen af hvad der styrer fuglenes fordeling og ynglesucces. Ud fra den viden vi har til rådighed i dag, vurderer vi at antallet af vadefugle vil gå tilbage som følge af de forventede øgede snemængder, og den deraf følgende senere smeltning. Yderligere kan prædationen blive mere intensiv, hvis der i fremtiden kommer flere lemminger, så der også bliver flere ræve (*se kapitel 11*). Endelig kan hyppigheden af perioder med dårligt vejr stige som følge af et mere maritimt klima.

Vadefuglene vil forsvinde fra de yngleområder hvor der allerede i dag er mest sne, og de vil i mange andre områder være tvunget til at yngle senere og dermed givetvis med ringere succes. Vi forventer at stenvender og islandsk ryle vil reagere kraftigst på klimaændringerne, mens de mindre arter vil klare sig bedre. På længere sigt kan man dog forestille sig at der vil blive mere frodigt i nogle af de områder, hvor der i dag er få vadefugle pga. for lidt vegetation og dermed for få føde dyr. Dermed vil der her kunne opstå tættere bestande. Dette forudsætter dog at vadefuglenes raste- og overvintringsområder ikke bliver mindre i fremtiden når havniveauet stiger – og det er der meget, der tyder på at de vil! Men det er en helt anden historie.

Op- og nedture for for tundraens lemminger



Foto: Magnus Elønder

Kapitel 9

Halsbåndlemming i sommerdragt på en tør rypelyngbevokset hede som udgør dens foretrukne levested om sommeren.

Af Thomas B. Berg, Afdeling for Arktisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser og Afdeling for Populationsøkologi, Zoologisk Institut, Københavns Universitet

Der er opstået mange myter omkring lemminger og deres dramatiske masseforekomster. I 1500-tallet mente man at de kom dalende ned fra himlen fra deres hjemsted på de højeste bjergtoppe, og så sent som i 1940'erne blev der skrevet artikler om hvordan de kastede sig i ishavet nord for Alaska. Ikke bare lemmingerne, men også andre smågnavere udviser ofte periodiske svingninger som har haft fagkondskabens interesse siden 1920'erne. I dag er vores viden om lemmingerne stor, men den højarktiske halsbåndlemming lever ni måneder under sneen og skjuler dermed stadig nøglen til gåden.

Boks 19

Lemminger – fakta og hypoteser

Lemmingår

Arktiske økosystemer er forholdsvis simple i deres opbygning, og det er her let at tale om egentlige nøglearter der spiller en central rolle i økosystemets fødenet. Halsbåndlemmingen er en sådan nøgleart. Antallet af lemminger i et område påvirker i høj grad de arter der direkte lever af lemminger, men det påvirker også indirekte andre arter som har de samme fjender (se kapitel 11).

Såkaldte lemmingår hvor det myldrer med lemminger, forekommer mere eller mindre regelmæssigt (boks 19). Om sommeren lever halsbåndlemmingerne i huller i jorden på tørre og veldrænede steder, mens de om vinteren bygger små kuppelformede reder under sneen. Antallet af vinterreder er et godt og enkelt mål for år til år variationen i lemmingernes vinterbestand (figur 29).

Biologer følger lokale lemmingbestande to steder på Grønlands østkyst, nemlig ved Zackenberg og ved Karupelv på Traill Ø 220 km syd for Zackenberg. Det er bemærkelsesværdigt at svingningerne i de to lemmingbestande har fulgt hinanden i de syv parallelt undersøgte år. Der er flere eksempler fra Grønland på at to adskilte bestande kan kulminere i forskellige år.

Lemminger er hamsterstore gnaverer der er udbredt hele vejen rundt om det nordlige ishav. Halsbåndlemmingen har specialiseret sig til de højarktiske forhold tættest på Nordpolen og er den eneste gnaver på de nordligste canadiske øer samt på Grønland (det rødt indrammede område på kortet). Længere sydpå bliver vintrene for ustabile og landet for maritimt præget til at vinterhabitaten er sikker nok.

Lemmingen er aktiv året rundt. De år hvor bestanden bygger op til et maksimum, kan lemmingerne begynde yngleaktiviteterne ved lysets tilbagevenden i februar, og de kan få op til 3-4 kuld om året. Denne hurtige reproduktion gør lemmingerne til en vigtig brik i det arktiske økosystem.

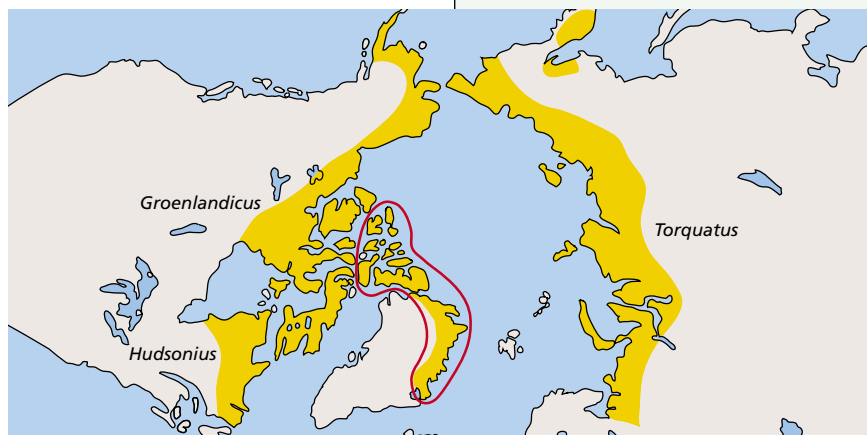
Bestanden af lemminger svinger oftest cyklisk (i et fast mønster) mellem lav og høj tæthed over en periode på fire år (figur 29). Visse steder er svingningerne meget konstante – andre steder knapt så udtalte. Den generelle tendens er at svingningerne bliver mere stabile jo længere nordpå man kommer. Der

findes dog for få data længst mod nord til at bekræfte om denne tendens også gælder dér.

Tætheden af lemminger varierer stærkt fra område til område, og det samme gælder for størrelsen af svingningerne. Visse steder i Arktis kan der være op til 200 lemminger pr. ha. ved bestandens maksimum, hvorimod de tilsvarende tætheder i højarktisk Grønland er meget beskedne – blot omkring fire lemminger pr. ha.

Det er endnu ikke lykkedes at finde en forklaring på hvorfor lemmingbestande har disse cykliske svingninger. Der er fremsat forskellige hypoteser som spænder bredt lige fra interne faktorer som genetik over intraspecifikke faktorer (mellem individer inden for samme art – f.eks. stress) til interspecifikke faktorer (mellem forskellige arter og mellem trofiske niveauer – f.eks. plante/lemming, parasit/lemming og prædator/lemming). I de seneste årtier har forskerne været delt i to lejre hhv. fødehypotesen og prædatorhypotesen. Fødehypotesen antager at fødens kvalitet og kvantitet er afgørende, mens prædatorhypotesen antager at prædatorerne genererer svingningerne. I begge tilfælde kan der være tale om et samspil, hvor hhv. planter og prædatorer reagerer på stigninger i lemmingbestanden, hvorefter lemmingbestanden påvirkes negativt og det hele begynder forfra så bestandene går i en form for "selvsving".

Udbredelsen af de tre *Dicrostonyx*-lemmingarter er angivet med gult. Den røde indramning angiver det område hvori halsbåndlemmingen er eneste gnaverart. Efter Jarrell og Fredga 1993. Linn. Soc. Symp. Ser. 15: 54.



Boks 20

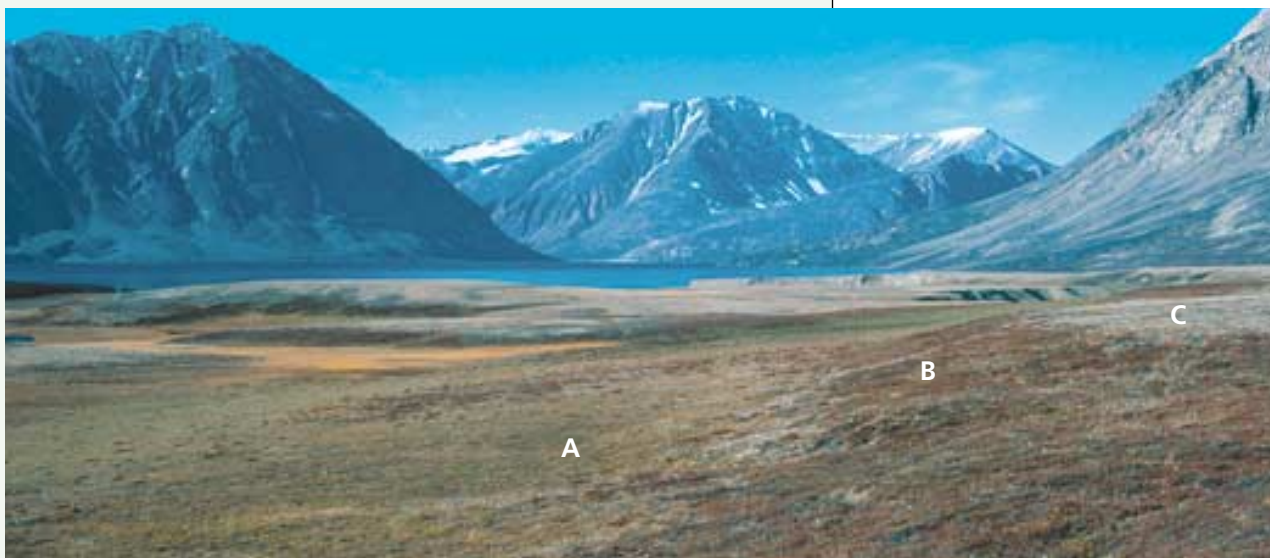
Habitater

En habitat (levested) er et område inden for et økosystem der opfylder de krav til livets opretholdelse en given art stiller – det være sig en plante eller et dyr. Set ud fra to forskellige arters synsvinkel kan en given habitat derfor være god eller dårlig.

Planter er af åbenlyse årsager bundet til deres habitat, og de skal kunne overleve alle årstider inden for et afgrænset område. Dyr er mobile og kan skifte habitat afhængig af årstiden. Dette gælder i udpræget grad for trækfugle (se kapitel 8), men også pattedyr som rensdyr og lemninger vælger forskellige habitater i løbet af året. Rener vandrer over store afstande mellem indlandet og kysten, mens lemningen blot flytter sig inden for få hundrede meter – i enkelte tilfælde inden for få meter.

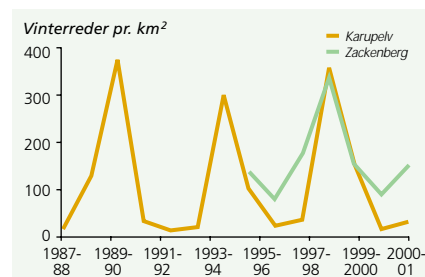
Lemningernes krav til vinterhabitat er et tidligt stabilt snedække. Det er mere vigtigt end en rig plantevækst. De foretrækker ofte steder i terrænet hvor der er læ – specielt skråninger er

i høj kurs da skråningerne også har en god afstrøming i tøperioden, så gangsystemerne ikke drukner i smeltevand. Der findes oftest tydelige grænseflader mellem tre typiske plantesamfund langs sådanne skråninger. Nederst i snelejet finder vi arktisk pil (A på fotoet) som er en af lemningens foretrukne fødeemner. Opad mod skræntens top vokser kantlyng (B på fotoet) som har meget strenge krav til snedækkets tykkelse og varighed. Oven for skråningen på den tidlige snefri tørre sommerhabitat vokser græsser og halvgræsser samt den for sommerhabitaten så karakteristiske rypelyng (C på fotoet). De tre sidstnævnte planter udgør lemningens primære sommerføde, trods det at græsser og halvgræsser ikke rangerer højt på menukortet. Sommerhabitaten rummer et væld af underjordiske gange der fungerer som lemningernes base i den snefrie periode fra slutningen af juni til sneen igen lægger sig i oktober-november.



Figur 29

Antallet af lemninger svinger ofte stærkt fra år til år. Mange steder er der en cyklus på fire år mellem to toppe, sådan som det ses her i tætheden af vinterreder i to områder på Grønlands østkyst. Det er påfaldende hvor ens den sidste top er i de to områder, mens der ved minimum er langt tættere bestand i Zackenberg. Karupelv ligger ca. 220 km syd for Zackenberg. Denne bestand er fulgt syv år længere end bestanden ved Zackenberg (data fra Karupelv er venligst stillet til rådighed af Benoit Sittler).



Opbygningen af et økosystem er afgørende for dynamikken mellem de trofiske niveauer (placeringen i økosystemet). På trods af den korte afstand der adskiller Karupelv og Zackenberg, har det vist sig at der er nogle få men påfaldende forskelle i opbygningen af de to økosystemer. Meget tyder på at tætheden (antallet af lemninger inden for et givet areal) for de to lemmingbestande er ens i lemmingår, mens tætheden er forskellig når bestandene er på sit minimum (figur 29). Ved Karupelv kan der således være 33 gange så mange vinterreder i lemmingårene som i år med få lemninger, mens der hidtil kun er fundet en forskel på en faktor 4,5 ved Zackenberg. Man kan muligvis finde forklaringen ved at kigge på sammensætningen af de to økosystemer hvor eksempelvis forholdet mellem sneugle og hermelin om sommeren kan spille en væsentlig rolle (se kapitel 11).

Klimaet styrer lemmingens valg af habitat i løbet af året

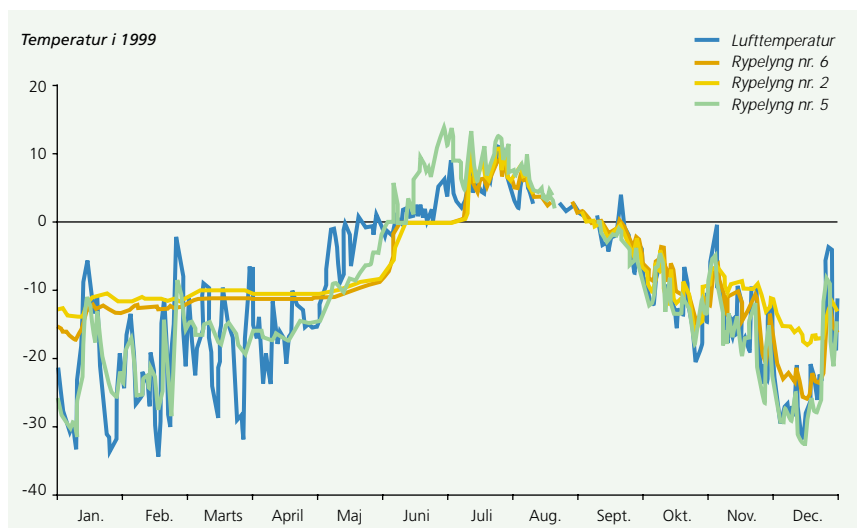
De klimatiske forhold er afgørende for hals-

båndlemmingens udbredelse og hvordan den udnytter habitatet (boks 20). Sneen er livsnødvendig for lemmingen, fordi den isolerer mod vinterens lave kuldegrader og bidende vind. Målinger ved Zackenberg viser at der ved jordoverfladen under sneen kan være ned til 20 graders frost (figur 30), men for det meste er der "kun" 10-15 graders frost mod luftens ofte 20-35 minusgrader. Lemmingerne trives øjensynlig godt og kan i vinterens løb have god ynglesucces.

Snelagets tykkelse og beskaffenhed har stor betydning for lemmingernes fordeling, og snelaget er den vigtigste faktor når lemmingerne vælger deres vinterresidens. Lemmingerne skeler i mindre grad til mængden af føde i nærheden af reden. Vores undersøgelser viser at der er sammenhæng mellem snesæsonens længde og antallet af vinterreder samt en sammenhæng mellem antallet af aktive sommerbo og længden af den snefrie periode. Det skyldes at både hunnen og ungerne spredes ud i terrænet og bygger nye reder efter at hun har forladt ungerne. Sneen har ydermere en indirekte effekt på lemmingerne, fordi deres

føde bliver påvirket af snesæsonens længde (se kapitlerne 4 og 5). Om vinteren lever lemmingerne i områder hvor der er et stabilt snedække vinteren igennem. Lemmingerne foretrækker desuden områder der skråner lidt så gangene under sneen ikke drukner i smeltevand om foråret. Kær er derfor ikke optimale, og de bliver hovedsageligt brugt i de vintre hvor bestanden topper og der er rift om de gode steder (se figur 31a og b). Vinden er også vigtig at tage med i betragtning. Vinden fordeler sneen, og ikke overraskende er de bedste vinterhabitater for lemmingerne ofte at finde i og omkring de elementer i terrænet der giver læ, så der dannes snedriver.

Når man opstiller scenarier for effekterne af klimaændringer er det derfor ikke nok at fokusere på ændringer i temperatur og nedbør. Det er også vigtigt at se på vindforholdene specielt i vintersæsonen. Ændringer i vindretningen om vinteren kan få stor betydning for flere trofiske niveauer, fordi normalt snesikre levesteder pludselig kan blive blotlagt – også selv om mængden af sne er den samme.



Figur 30

Sne isolerer godt, så temperaturen ved jordoverfladen er oftest væsentligt højere end i luften over sneen. Lufttemperaturen er her målt i to meters højde, mens de tre andre kurver er fra jordoverfladen i tre rypelyngfelter målt ved Zackenberg i 1999. Den røde og den gule kurve repræsenterer lemmingernes vinterhabitat med et tykt snedække, mens den grønne er fra en sommerhabitat som er mere eller mindre snefri hele året og derfor har næsten samme temperatur som oppe i luften (her vist med blå).

Fødeindtaget er begrænset af fødekvalitet og fjender

Hvis lemminger får adgang til føde ad libitum i 8-12 timer under beskyttede forhold, kan de hver sætte ca. 1 g føde til livs pr. time. Unge lemminger har en kropsvægt på 30-40 g, og de indtager dermed hvad der svarer til mellem 60% og 80% af deres kropsvægt i løbet af et døgn. Under frie forhold i naturen er deres fødeindtag væsentligt mindre.

Om vinteren lever lemmingerne af føde der har en dårligere kvalitet end om sommeren. Til gengæld er der mere tid til i fred og ro at søge efter føden under det beskyttende lag sne. I juni flytter lemmingerne fra vinterkvartererne til sommerhabitaterne (figur 31c). Kvaliteten af føden er bedre om sommeren, men antallet af fjender er mangedoblet i forhold til om vinteren, og lemmingerne holder derfor den tid de bruger på at søge føde på et minimum. Lemmingerne er i sikkerhed for kjover og ugler i gangsystemerne under jorden. Rævene har kun sjældent held til at grave en lemming ud af hullet, hvorimod hermeline kan trænge ned i gangsystemet og være næsten sikker på succes.

Lemmingerne genbruger ofte hullerne fra år til år, men mange huller kan ligge ubenyttede hen i et eller flere år. Hullerne kan inddeles i to grupper: Dem med reder, og dem uden. Sidstnævnte har kun funktion som skjul, men de udgør ca. 90% af de aktive huller. Lemmingernes afføring afgiver en tydelig lugt som ræve og hermeline kan spore. Derfor benytter lemmingerne også gangsystemet under jorden til at komme af med deres afføring. Denne adfærd kan virke som et røgslør da rovdirene dermed ikke kan være sikre på om hullet rummer en lemming eller ej. Længden af gangsystemet varierer meget – lige fra 25 cm til mere end tre meters længde.

Om sommeren henter lemmingerne deres føde i umiddelbar nærhed af hullet, og de må derfor tage til takke med hvad vegetationen byder på inden for en radius af få meter. Til gengæld har hver enkelt lemming ofte flere grupper af huller som den veksler imellem sommeren igennem. Arktisk pil og rypelyng er to af lemmingernes foretrukne fødeplanter, men også græsser og halvgræsser udgør en væsentlig andel af føden – specielt om sommeren. Dette ses

ved at tuer af børstekobresie kan være spist helt ned tæt på sommerboets hul. Et fodringsforsøg med seks forskellige fødeemner viste at børstekobresie var den lavest rangerede fødeplante. Arktisk pil og rypelyng var mest eftertragtede. Figur 32 og 33 viser tydelige eksempler på at der er sammenhæng mellem f.eks. vinterbestanden af lemminger og f.eks. rypelyng.

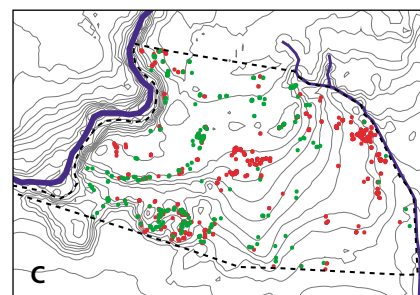
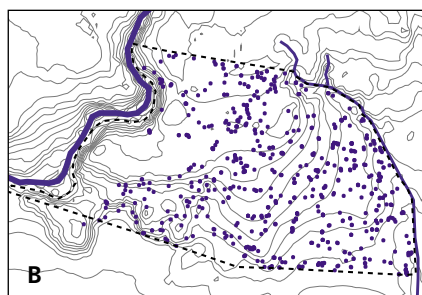
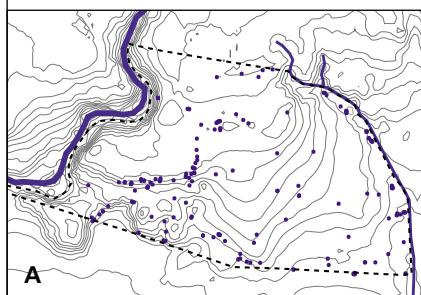
De områder der opfylder lemmingens krav til sommerhabitat, er langt mindre end det potentielle område som kan huse dem om vinteren. Således udgør sommerhabitaten kun 21% af undersøgelsesområdet 206 ha, mens vinterhabitaten dækker 64%. Man må derfor forvente at græsningstrykket (udnyttelsen af vegetationen som føde) om sommeren er mere intensivt pr. kvadratmeter end om vinteren og derfor også påvirker vegetationen mere. Selv om halvbåndlemmingen har sin yndlingsføde, er den ingen kostfornægter, og den kaster sig over planter som andre smågnavere ville gå en stor bue udenom.

Når planter bliver græsset, reagerer de ved at producere forsvarsstoffer (fenoler) som nedsætter næringsværdien. Da lem-

Figur 31

Figureerne viser hvordan lemmingernes vinter- og sommerreder er fordelt inden for det 206 ha store undersøgelsesområde ved Zackenberg. A viser 180 vinterreders placering i vinteren 1999/2000 hvor bestanden var på sit minimum. B viser vinterredernes placering i vinteren 1997/1998 hvor bestanden var på sit højeste. Placeringen af de 692 reder viser tydeligt at også mindre optimale områder bliver udnyttet. C viser hvor

lemmingerne placerer deres sommerreder i to forskellige år. Der var 789 sommerreder i 1997 (røde prikker) og 335 i 1998 (grønne prikker). Bestanden var på sit sommermaksimum i 1997. De anvendte sommerområder ændrer sig ikke væsentligt mellem minimum og maksimum, og græsningstrykket er derfor sandsynligvis højere i sommerhabitaten end i vinterhabitaten.



mingerne om sommeren henter deres føde inden for et meget begrænset område, er det sandsynligt at lemmingerne i højere grad bliver påvirket af disse fenoler end om vinteren. Lemmingerne tager øjensynligt ikke nævneværdig notits af disse forsvarsstoffer. Resultatet er at lemmingerne kun sjældent øger deres vægt i løbet af sommeren, fordi de har svært ved at optage fødens proteiner. I bedste fald opretholder de blot den vægt de havde ved sommerens begyndelse.

Hvad vil der ske?

Trods snart 80 års forskning er det endnu ikke lykkedes at løse spørgsmålet omkring lemmingernes dramatiske bestandssvingninger. Der har været mange hypoteser, men den endelige forklaring ligger nok i en kombination af de forskellige mekanismer som regulerer populationerne (se boks 19). Mange forskningsprojekter om lemmingerne har arbejdet i vidt forskellige økosystemer, så resultaterne er derfor i bedste fald gode bud på lokale sammenhæ-

ge. De første syv års data fra Zackenberg viser at der er meget store variationer fra år til år for alle økosystemets komponenter. I dette kapitel har vi kun set på simple direkte sammenhænge hvilket har givet et fingerpeg om hvilke oplysninger det er vigtigt at tage med i en fremtidig analyse af udviklingen i bestanden af lemminger. Omfattende analyser og modelberegninger kræver mange flere oplysninger som netop er ved at blive indsamlet ved Zackenberg.

Hvis klimaet i Arktis bliver varmere, vil det højst sandsynligt resultere i mere sne og flere perioder med tø. Lemmingen vil i første omgang nyde godt af et tykkere sne-lag da sneen giver lemmingen optimal beskyttelse mod rovdyr. Mere sne vil også betyde mere udbredt vegetation og dermed større områder til lemmingerne. Men mere sne kan også resultere i at sneen smelter senere og planterne dermed får en kortere vækstsæson med deraf følgende forringet fødemængde for den enkelte lemming. Stærk tø om vinteren der smelter sne-

laget over store områder eller danner islag i sneen, vil være direkte ødelæggende for lemmingerne.

Højere temperaturer om sommeren og mulighed for et mere maritimt klima vil muligvis resultere i flere skyer og mere nedbør. Undersøgelser har vist at et øget skydække vil nedsætte mængden af forsvarsstoffer i planterne hvilket åbenlyst vil være en fordel for planteæderne. Så der er mange mulige retninger, lemmingbestanden kan udvikle sig i som følge af klimaændringer. Og hvordan ændringerne vil påvirke forholdet mellem top og bund i svingningerne, tør vi slet ikke sige noget om.

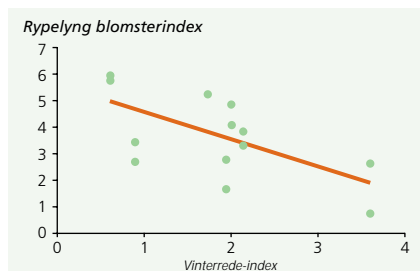
Data præsenteret i dette kapitel er hentet fra følgende manuskripter under udarbejdelse:

Berg, T.B. og N.M. Schmidt: Spatio-temporal interactions in the habitat use of the collared lemming: Effects of density dependence and density independence.

Berg, T.B.: Selective foraging behaviour of the collared lemming: does seasonal habitat choice matter?

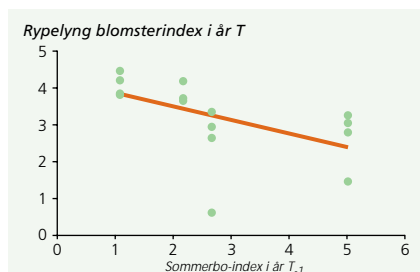
Berg, T.B.: Seasonal changes in the food composition of the collared lemming: does food quality matter?

Berg, T.B.: Summer food quality as a function of burrow density in collared lemming.



Figur 32

Vinterhabitat. Der er signifikant negativ sammenhæng mellem antallet af rypelyngblomster og antallet af vinterreder i den foregående vinter, 1995-2001. Jo flere lemminger der er om vinteren des færre rypelyngblomster ses der den følgende sommer. Samme billede tegner sig i forholdet mellem vinterreder og arktisk pil i vinterhabitatet. Det tyder derfor på, at græsningstrykket om vinteren påvirker blomstersætningen negativt. Vi fandt derimod ingen sammenhæng mellem rypelyngblomster i vinterhabitatet og antallet af sommerbo den foregående sommer. Med andre ord påvirker antallet af lemminger i sommerhabitatet ikke blomstersætningen hos rypelyng i vinterhabitatet.



Figur 33

Sommerhabitat. Der er signifikant negativ sammenhæng mellem antallet af rypelyngblomster og antallet af aktive sommerbo den foregående sommer, 1998-2001. Med andre ord tyder det på at lemmingbestanden den foregående sommer påvirker blomstersætningen den efterfølgende sommer negativt (forsinket respons). Der var ingen sammenhæng mellem antallet af rypelyngblomster i sommerhabitatet og antallet af vinterreder i den foregående vinter hvilket peger i retning af at lemminger ikke udnytter sommerhabitatet i vinterperioden, da denne er meget snefattig.

Moskusokserne i Zackenbergdalen påvirkes af snemængde og plantevækst



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

Kapitel 10

En familie af moskusokser består oftest af en ældre ko med hendes døtre i flere generationer. Tyrekalvene forlader som regel familien inden deres tredje år. De to små kalve på billedet er født samme år og med stor sandsynlighed af den ældre ko til højre samt af hendes datter på tre år til venstre. De to-årige hhv. ko og tyr i baggrunden kan meget vel være afkom af den ældre ko.

Af Mads C. Forchhammer, Afdeling for Populationsøkologi, Zoologisk Institut, Københavns Universitet og Thomas B. Berg, Afdeling for Arktisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser og Afdeling for Populationsøkologi, Zoologisk Institut, Københavns Universitet.

Moskusokser er slet ikke så robuste som de ser ud. Store mængder sne og især gentagne dannelser af iskorper har tidligere udryddet hele bestande. Effekten af snedækket på moskusokserne afhænger af oksernes køn og alder. Køer og kalve påvirkes direkte da meget sne stresser dem fysisk. Ungdyr der er uafhængige af deres mor men stadigvæk vokser meget, påvirkes indirekte via sneens indflydelse på føde kvaliteten, mens tyrene tilsyneladende påvirkes i mindre grad af ændringer i snemængden. Moskusoksernes bevægelse i landskabet påvirkes også af snemængde og fordeling, hvilket igen sandsynligvis har en effekt på vegetation og jordbundsprocesser. Ændringer i moskusoksernes adfærd kan altså påvirke andre komponenter af det højarktiske økosystem.

160 moskusokser kan samles i Zackenbergdalen

Sommeren igennem græsser der dagligt op til 100-160 moskusokser i kærerne og på skråningerne inden for det 40 km² store optællingsområde i Zackenbergdalen (figur 34). Antallet varierer dog meget i løbet af sommeren og fra år til år. I dette kapitel ser vi nærmere på dynamikken i Zackenbergs moskusoksebestand og på hvordan dyrene udnytter forskellige dele af området i forhold til de enkelte års klimatiske forhold. Vi fokuserer især på hvordan forandringer i mængden af sne har indflydelse på moskusoksernes føde, dvs. planterne, men vi indrager også tæthedsafhængige effekter, dvs. effekter af samspillet mellem moskusokserne indbyrdes.

Moskusoksernes føde bliver påvirket af sneen og dens fordeling

Inden for de sidste syv år har mængden af sne ved Zackenberg varieret meget fra år til år. Vinteren 1998-99 var meget snerig og 93% af området var dækket af sne ved vækstsæsonens start først i juni. Den efterfølgende vinter, 1999-2000, var derimod meget snefattig med kun 53% sne-dække på samme tid.

Målingerne af snedækket ved Zackenberg viser også at sneen ikke er jævnt fordelt i området. Der er således en tydelig omvendt sammenhæng mellem mængden af sne i højlandet og mængden af sne i lavlandet: Efter snerige vintre er der relativt mere sne i de højtliggende områder end i

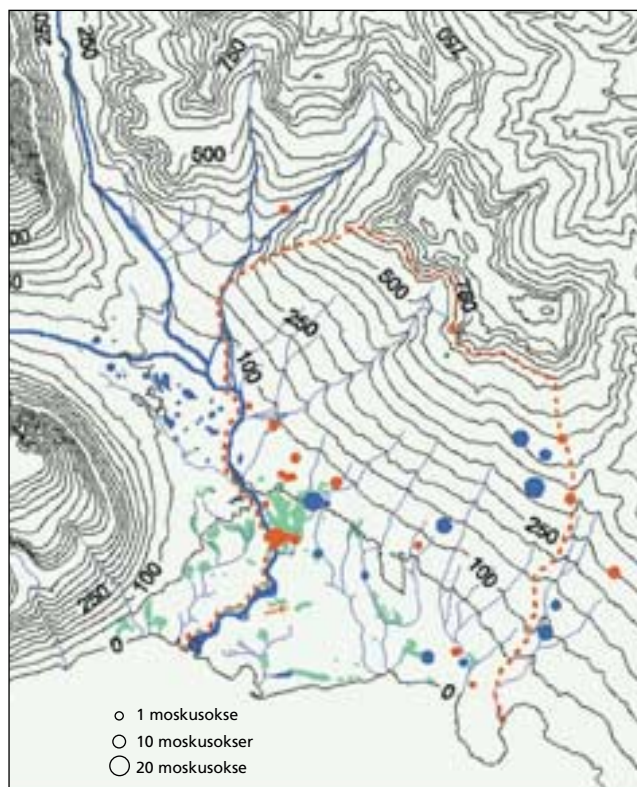
de lavtliggende og omvendt ved snefattige vintre.

Mængden af sne har stor indflydelse på hvor let moskusokserne har ved at få fat i føden. Den direkte effekt er velkendt: Meget sne betyder at moskusokser bruger meget tid og energi på at finde føden og grave den fri. Under sådanne forhold vil moskusokserne ofte bruge mere energi end de får ind via føden, og de vil derfor begynde at tære på deres fedtdepoter (boks 21). Hvis snelaget samtidig gentagne gange iser til, kan det få katastrofale følger for moskusokserne. De har da meget svært ved overhovedet at grave sig ned til føden, og mange vil dø af sult.

Oplysningerne fra BioBasis-overvågningsprogrammet tyder desuden på at

Figur 34

Kort over Zackenbergdalen med optællingsområdet for moskusokser (rød stiplede linie) og eksempler på oksernes fordeling på to optællingsdage. Prikkerne på kortet viser flokkenes placering ved optællingen den 25. juli 2000 (blå) og den 20. august 2000 (røde), og størrelsen er proportional med antallet af dyr i flokkene. Det røde kryds angiver landingsbanen ved Zackenberg Forskningsstation.



Boks 21

Moskusoksen – tundraens plæneklipper

Moskusoksen er den eneste store planteæder i Nordøstgrønland. De fleste andre steder i Arktis lever moskusoksen side om side med rensdyret. Den 2-300 kg tunge moskusokse afviger på mange måder i levevis fra rensdyret. Moskusoksen er stationær og er derfor mere udsat for drastiske svingninger i vinterklima end rensdyret der med sine årlige vandringer undgår de mest barske vinterforhold. Også fødemæssigt afviger de to planteædere fra hinanden. Mens rensdyret med stor omhu udvælger de bedste urter og laver, så er moskusoksen en slags levende plæneklipper der støt og roligt tygger sig gennem en grov blanding af græsser, halvgræsser og dværgbuske.

Moskusoksernes tætte underuld og lange dækhår yder en fantastisk beskyttelse mod vind og kraftig kulde. Underulden er noget af den bedste uld der findes overhovedet. Den er meget let, blød og utrolig varm. Apollo-astronauternes undertøj var bl.a. lavet af moskusoksens underuld. De betydelige fedtreserver moskusokserne opbygger i løbet af sommeren bliver brugt gennem vinteren, hvor de bruger mere tid på hvile og drøvtygning end på at søge efter og indtage føde.

Moskusokserne lever i små flokke som tilsyneladende består af nært beslægtede køer og ungdyr – oftest under ledelse af en gammel ko. Tyrene færdes i en løs flokstruktur uden for brunsttiden, men opsøger kørerne i deres brunstperiode

Den fine knoglemarv viser at denne okse ikke døde af sult, så det er muligt at den blev dræbt af ulve.

i august-september. Kalvene bliver født i april-maj det efterfølgende år. Moskusokserne bliver kønsmodne i en tidlig alder, men der er stor kønsforskel på dyrets alder, når de bidrager til reproduktionen første gang. Køerne føder den første kalv i treårs alderen, mens tyrene først bidrager nævneværdigt, når de når en alder af syv år eller mere. Før den tid kan de ikke gøre sig gældende i brunstkampene.

Den største trussel mod moskusokserne er overisninger om vinteren som følge af varme føhnstorme eller perioder med varme og regn. Parasitter kan også spille en væsentlig rolle. Vi kategoriserer de moskusoksekadavere vi finder i dalen, i to grupper: Dem med knoglemarv og dem uden. Sidstnævnte kategori består af helt udmarvede individer hvor sult er den væsentligste dødsårsag. Dødsårsagen kan dog været styret af alderdom/nedslidte tænder og/eller parasitter. Zackenbergdalen får hvert år besøg af en eller flere ulve, og vi har fundet klare tegn på at nogle af okserne er bukket under for ulve.



Foto: Aurora Photo/Thomas B. Berg

forandringer i vinterens snemængder og så har en forsinket, indirekte effekt på moskusokserne. Snerige vintre vil nemlig forsinke starten på planternes vækstsæson det følgende forår og dermed forkorte vækstsæsonen (se også kapitlerne 4 og 5). Efter snefattige vintre er det omvendt: Vækstsæsonen starter tidligere og sæsonen bliver længere. Dette forhold betyder at de moskusokser der overlever snerige vintre, også må døje med en kortere periode med planteføde af høj kvalitet den efterfølgende sommer.

Aldersgrupper og køn reagerer forskelligt på forandringer i miljøet

Siden 1996 er det akkumulerede antal moskusokser i Zackenbergdalen gået tilbage fra over 600 okser i 1996 til omkring 300 i 1998 og 400 i 2001 (figur 35a, side 70). Denne udvikling afspejles ikke ensartet i de forskellige køns- og aldersgrupper. Observationer fra BioBasis viser at en stigning i det totale antal moskusokser der udnytter undersøgelsesområdet ved Zackenberg, falder sammen med en markant stigning

i antallet af 1-årige. Der er desuden en tendens til at antallet af kalve stiger og at antallet af tyre og køer falder. Vi fandt ikke nogen overordnet sammenhæng mellem det totale antal moskusokser og mængden af sne den foregående vinter, længden af sidste års vækstsæson eller sidste års totale bestandsstørrelse. Derimod viste data fra Zackenberg at år til år ændringer i forekomsten af tyre, køer, 1-årige og kalve tilsyneladende var relateret til vidt forskellige miljøforhold. Der var ingen tydelig sammenhæng mellem ændringer i

forekomsten af tyre og mængden af sne den foregående vinter eller længden af sidste års vækstsæson. Derimod kunne vi konstatere at forekomsten af tyre tydeligvis var negativt påvirket af sidste års bestandsstørrelse: Jo flere tyre der havde været året før, jo færre var der nu (figur 35b). Det er ikke muligt at afgøre om denne såkaldte tæthedsafhængige effekt skyldes øget konkurrence om føden blandt tyre, skader/udmattelse som følge af tyrenes kampe om køerne, eller en kombination af disse. Tidligere undersøgelser af moskusokser har påvist en stærk konkurrence mellem tyrene om adgang til køerne i paringssæsonen. Konkurrencen kan være så intens at tyrene er væsentligt svækkede umiddelbart før vinteren starter.

De andre køns- og aldersgrupper var, modsat tyrene, tilsyneladende ikke påvirket af tæthedsafhængige forhold. Derimod påvirkede mængden af sne den foregående vinter forekomsten af kalve og måske også køer den følgende sommer: Jo mere sne, desto færre kalve og køer (figur 35c). Ung-

dyr (1-2-årige) reagerede mere på ændringer i længden af sidste års vækstsæson end på foregående vinters snemængde: Jo længere vækstsæson, desto flere ungdyr året efter (figur 35d). De biologiske forklaringer på disse forhold er sandsynligvis følgende: Køer med kalve og drægtige køer er specielt sårbare overfor vintre med meget sne. Årsagen er at disse køer i forvejen er fysisk stressede fordi de enten dier deres kalve eller afgiver ekstra næring til deres fostre som udvikler sig gennem vinterperioden. At kalvene reagerer på samme måde som køerne hænger nok sammen med at de stadigvæk er afhængige af mælk fra deres mor, og hun producerer mindre mælk når hun er fysisk stresset.

Ungdyrene er derimod uafhængige af deres mors mælkeproduktion, og de bliver derfor ikke påvirket på samme måde af deres mors fysiske tilstand som kalvene. Derimod er ungdyrene specielt afhængige af adgang til god føde, fordi de – modsat voksne okser – stadigvæk skal bruge ekstra energi til at vokse. Der er derfor "fornuft"

i at deres forekomst afhænger af længden af foregående års vækstsæson: Jo længere vækstsæson, desto længere tid med adgang til føde af høj kvalitet (figur 35d).

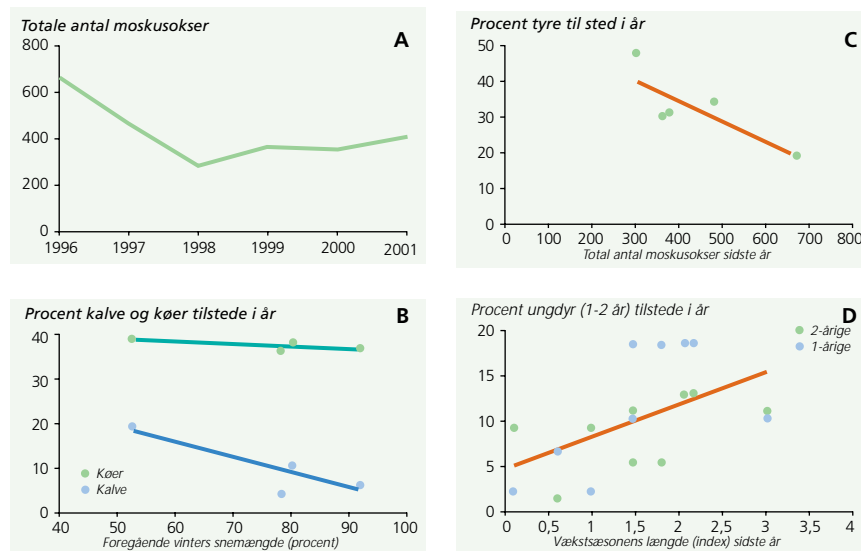
Ind- og udvandring afhænger af moskusoksernes antal

Moskusokserne opholder sig ikke i Zackenbergdalen året rundt. Der er året igennem en stadig ind- og udvandring af okser. Tidspunktet for vandringene varierer meget fra år til år. I 1997 indvandrede moskusokserne f.eks. 20 dage tidligere end i 1996. Der var ikke nogen udvandring efter den sene indvandring i 1996, mens der i 1997 var flere efterfølgende udvandring.

Tidspunktet for indvandringen i området ved Zackenberg er tydeligvis påvirket af antallet af moskusokser: Mange okser et år resulterer i en tidlig indvandring året efter og omvendt. Vi kan endnu ikke afgøre om tidspunktet for moskusoksernes indvandring til Zackenbergdalen er påvirket af miljøbetingelser uden for området. Det er dog sandsynligt at moskusokserne vil

Figur 35

- A** Det akkumulerede antal moskusokser set i Zackenbergdalen ved ugentlige tællinger har været lavere de sidste fire år end i 1996 og 1997.
- B** Andelen (%) af tyre er lavere, jo flere moskusokser der totalt var året før.
- C** Andelen (%) af kalve – og måske også køer – er lavere om sommeren i Zackenbergdalen, jo mere sne der var i dalen om vinteren og foråret (udtrykt ved % snedække 10. juni).
- D** Andelen af ungdyr (% 1-2-årige) er højere, jo længere planternes vækstsæson var året før. Alle sammenhænge på nær for køer i (c) er statistisk signifikante.



søge tidligere ind i området hvis konkurrencen udenfor er høj. Den efterfølgende ind- og udvandring gennem sommeren er også tæthedsafhængig, fordi udvandringen er større, når der er mange moskusokser i området og omvendt. Vi fandt ikke nogen direkte eller indirekte klimaeffekter på de forskellige års vandringmønstre i de nuværende oplysninger fra BioBasis.

Mængden af sne påvirker moskusoksernes rumlige udnyttelse af Zackenbergdalen

Optællingsområdet ved Zackenberg omfatter højder fra 0 til 600 m over havets overflade (figur 34). Moskusoksernes udnyttelse af dette område svinger meget fra år til år. Nogle år er okserne hovedsageligt observeret på højder over 200 m i begyndelsen af sommeren (juli), mens de i andre år starter sommeren i lavlandet under 100 m's højde (figur 36a). Den efterfølgende rumlige udnyttelse af området er ikke tilfældig. Hvis moskusokserne starter sommeren i højlandet, vil de sidst på

sommeren (august) være at finde i lavlandet og omvendt.

Hvad er så årsagerne til variationen i moskusoksernes rumlige bevægelser inden for optællingsområdet? Umiddelbart ser der ud til at være en tydelig tæthedsafhængig effekt: Jo flere okser der var i området sidste år, desto lavere højde befandt okserne sig i ved starten af den efterfølgende sommer (begyndelsen af juli). En nærmere forklaring på denne tilsyneladende tæthedsafhængige sammenhæng kræver flere års data. Hvis vi justerer den højde moskusokserne befinder sig i ved begyndelsen af juli for sidste års antal af moskusokser, så finder vi en tydelig effekt af foregående vinters snemængde: Jo mere sne, desto lavere starter okserne med at søge føde i begyndelsen af juli (figur 36b). Denne effekt skyldes sandsynligvis at snemængden påvirker start og længde af planterens vækstsæson: Efter snerige vintre vil lavlandet have relativt mindre sne end højlandet, hvilket resulterer i at planterens vækstsæson her starter relativt tidli-

gere. Ved at foretrække lavlandet efter snerige vintre får okserne sandsynligvis tidligere adgang til føde af høj kvalitet end hvis de havde valgt højlandet. Det omvendte gør sig gældende efter snefattige vintre.

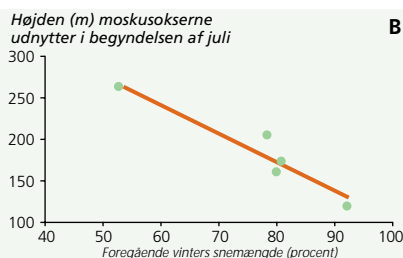
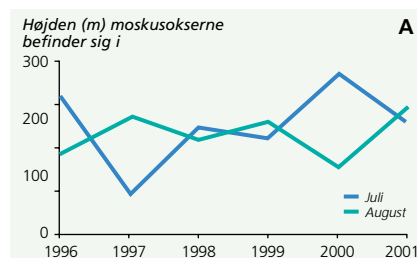
Et fingerpeg på trods af få oplysninger

Vores analyser af hvordan forandringer i miljøforholdene påvirker moskusoksebestanden ved Zackenberg er baseret på 4-6 års oplysninger. Det er ikke ret meget! For det første afspejler oplysningerne kun en del af variationen i klimaforholdene, og for det andet er datamængden på bestandens dynamik og fordeling alt for lille til at foretage de rigtige, mere omfattende statistiske analyser der er beskrevet i kapitel 2.

Ikke desto mindre giver vores gennemgang et fingerpeg om hvordan moskusokser i et højarktisk økosystem reagerer på nogle af forandringerne i deres miljø. Hvis vi sammenholder alle de sammenhænge der er beskrevet ovenfor og summeret i



Foto: Aurora Photo/Thomas B. Berg



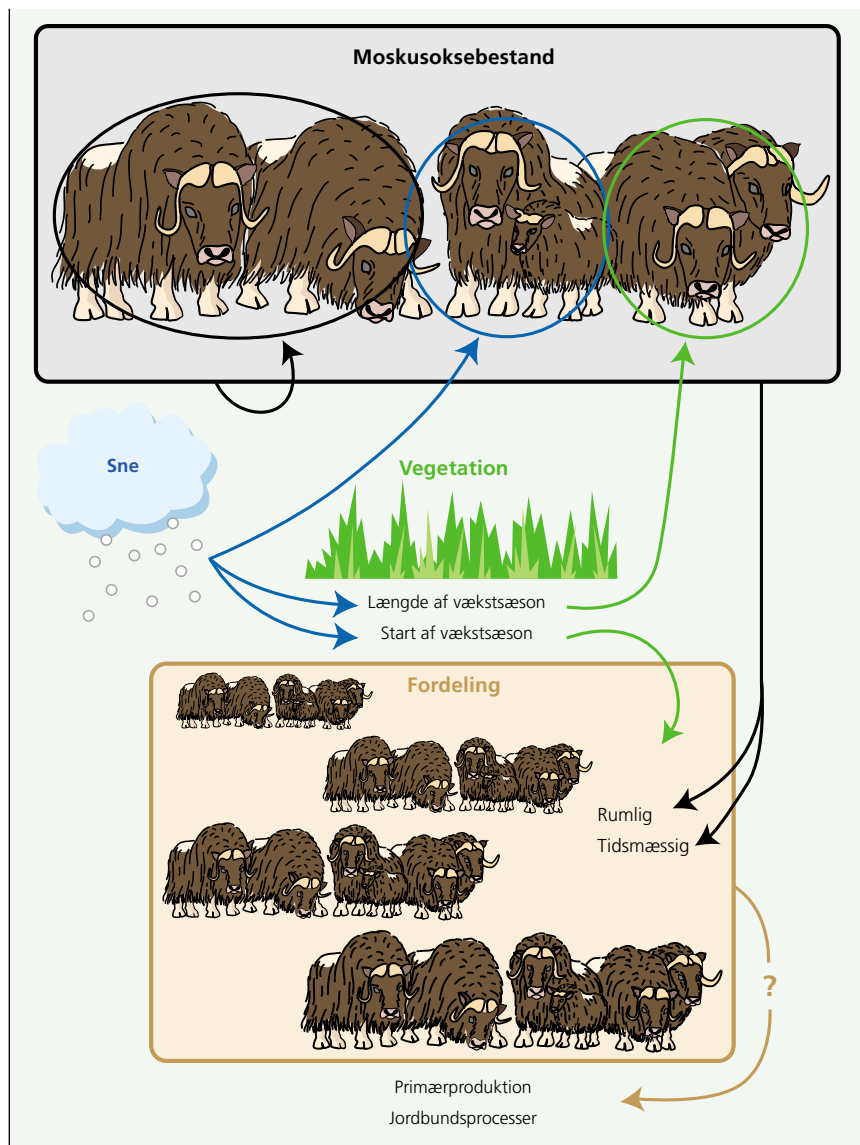
Figur 36

A Den gennemsnitlige højde moskusokserne udnyttede i slutningen af august varierede modsat udnyttelsen i begyndelsen af juli i årene 1996-2001.

B Der er signifikant sammenhæng mellem den terrænhøjde moskusokserne udnytter i begyndelsen af juli og foregående vinters snemængde: Jo mere sne om vinteren og foråret, jo lavere går dyrene i begyndelsen af juli. Højden er korrigeret for sidste års totale antal moskusokser i området der også påvirker den udnyttede højde i begyndelsen af juli (se tekst).

figur 37, kan vi konkludere at mere maritime vintre med mildere vejrperioder og mere sne sandsynligvis vil resultere i at antallet af moskusokser falder - der vil sandsynligvis blive født færre kalve, og muligvis vil flere køer dø om vinteren. Mere sne kan muligvis også forkorte planternes vækstsæson og dermed moskusoksernes adgang til god føde. Men en tilbagegang i bestanden vil sandsynligvis også mindske de tæthedsafhængige faktorer der tilsyneladende netop nu også er med til at regulere bestandens størrelse og brug af Zackenbergdalen. Og en reduktion i tæthedsafhængige faktorer kan yderligere betyde at den nuværende direkte negative effekt af sne mindskes.

Til trods for den umiddelbare negative effekt af meget sne på moskusokserne ved Zackenberg er det usikkert hvorvidt denne vil have altafgørende betydning i fremtiden. Vi ved for lidt om hvilken betydning interaktioner mellem biologiske og klimatiske faktorer har (f.eks. konkurrence og sne). Vi ved heller ikke nok om hvordan ændringer i vegetationen og jordbundsprocesser vil indvirke på den umiddelbare og simple effekt af mere sne. Med tiden vil analyserne af observationerne fra BioBasis kunne svare på dette.



Figur 37

Flow-diagram der sammenfatter analyserne i kapitlet. De blå pile viser hvordan klimaeffekter (mængden af sne) påvirker moskusokser og vegetation. De grønne pile viser hvordan vegetationen bliver påvirket af klimastyrede forandringer (start og længde af vækstsæson). De sorte pile viser hvordan antallet af moskusokser påvirker moskusokserne selv og vegetationen – dvs. tæthedsafhængige effekter. Spørgsmålstegnet angiver at vi endnu ikke har analyseret koblingen mellem moskusoksernes rumlige og tidsmæssige aktivitet i optællingsområdet og vegetationens vækst (primærproduktion). Tidligere studier viser dog at store planteædere som moskusokser har en markant indflydelse på jordbundsforhold og primærproduktion.

Analysen og resultaterne præsenteret i dette kapitel stammer hovedsageligt fra følgende videnskabelige artikler under udarbejdelse:

Forchhammer, M.C., N.M. Schmidt & T.B.G. Berg: Climate and density dependent spatial dynamics in a high arctic ungulate.
Forchhammer, M.C.: Seasonal and interannual population dynamics of a high arctic ungulate: interactions between climatic and density-dependent processes.

Prædatorerne i højarktisk Grønland foretrækker lemminger



Foto: Aurora Photo/Thomas B. Berg

Kapitel 11

Niels Martin Schmidt, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Thomas B. Berg og Hans Meltofte, Afdeling for Arktisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser

Halsbåndlemmingen er det primære byttedyr for de få arter af rovdyr (prædatorer) der lever i Nordøstgrønland. Fødespecialister som f.eks. hermelin og sneugle, er direkte afhængige af denne lille gnaver, og de store udsving i lemmingbestanden sætter sit tydelige præg på deres forekomst og ynglesucces. Andre prædatorer som f.eks. polarræv, er derimod langt mindre specialiserede, og udsvingene i lemmingbestanden påvirker derfor ikke disse generalister helt så meget. Alt afhængigt af byttedyrenes respons vil fremtidige klimatiske ændringer derfor ramme Nordøstgrønlands prædatorer forskelligt.

Hermeliner i sommerdragt.

Rovdyr og rovfugle

Der findes kun seks arter af landlevende prædatorer i højarktisk Grønland. Tre af disse er pattedyr, nemlig hermelin, polarræv og polarulv, mens lille kjove, jagtfalk og sneugle repræsenterer fuglene. Alle seks arter forekommer i Zackenbergdalen, men vi behandler kun hermelin, polarræv og lille kjove i dette kapitel. Polarræv og hermelin er almindelige i Zackenbergdalen. Alligevel er det svært og tidskrævende at indsamle detaljerede oplysninger fordi man ser så relativt lidt til dem. De oplysninger der bliver indsamlet gennem Bio-Basis-programmet, er derfor hovedsageligt antal observationer af arterne i dalen samt yngleaktiviteter. For hermelinernes

vedkommende bruger vi antallet af lemmingernes vinterreder, der er prædatorer af hermeliner som et indirekte mål for størrelsen af bestanden.

Begge pattedyrarterne er aktive og bliver i Højarktisk året rundt, men de har på forskellige måder tilpasset sig de barske vilkår for at overleve. Mens polarræven gennemlever vinteren over det tykke, isolerende snelag, klarer hermelinen sig udelukkende gennem vinteren under dette snelag, godt beskyttet mod de voldsomme kuldegrader (se figur 30 side 64). Blandt fuglene foretager den lille kjove et meget markant skift fra livet på tundraen om sommeren til livet som havfugl på det åbne sydlantiske ocean om vinteren.

Selv om Zackenbergdalens prædatorer generelt er meget forskellige i deres levevis, kan de inddeles i to grupper ud fra deres fødevalg. Hermelinen æder kun et meget snævert udvalg af fødeemner – primært lemminger – og den kan derfor betegnes som fødespecialist. Det samme kan man sige om sneuglen og den lille kjove som begge er stærkt afhængige af en høj tæthed af lemminger for at kunne lægge æg og opfostre unger. Polarræven har derimod en lang række fødeemner på menukortet. Polarræven kan i højere grad betegnes som fødegeneralist. Men når det er sagt, må det også understreges at halsbåndlemmingen udgør den primære føde for alle de lokale prædatorer.

I år med rigelig føde kan polarræven få op til 12 hvalpe. Alle vil dog ikke overleve sommeren. Rævemor holder vagt mens de fem hvalpe leger.



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

De forudsigelige – fødespecialisterne

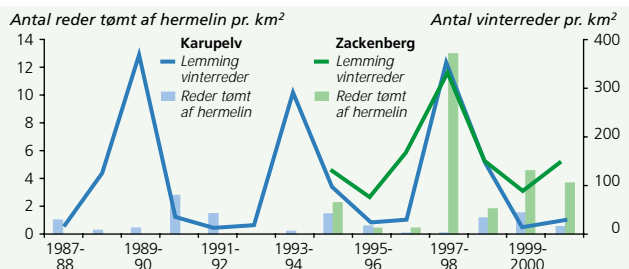
Selv om der endnu kun foreligger få års oplysninger, er det allerede på nuværende tidspunkt muligt at se enkelte simple mønstre mellem byttedyr og rovdyr. Det gælder især for fødespecialisterne.

Hermelinen er den mindste prædator i Højarkt, og med sine bare 125 g er den ikke meget større end de største halsbåndlemminger. Den lever hele sit liv i samme habitater som halsbåndlemmingen, og udbredelsen af halsbåndlemming og hermelin er da også fuldstændigt sammenfaldende i Grønland. Det indirekte mål for mængden af hermeliner er derfor også tæt knyttet til lemmingernes vinterindeks, her målt som antallet af vinterreder (figur 38). Som hovedregel topper antallet af hermeliner året efter lemmingerne. Som mange andre mårddyr har hermeliner forlænget drægtig-

hed. Det betyder at det befrugtede æg først sætter sig fast i livmoderen et stykke tid efter parringen (se boks 22 side 76). Hermelinen kan derfor ikke reagere øjeblikkeligt på den rigelige føde, lemmingerne med jævne mellemrum udgør. Og dog! I sommeren 1998 som var et topår for lemminger, observerede vi det hidtil største antal hermeliner i Zackenbergdalen samt flere kuld på op til seks unger. Dette umiddelbare sammenfald af hermelin- og lemmingetop i vinteren 1997/98 skyldes efter al sandsynlighed lemmingernes sommertop i 1997 (se kapitel 9). Ved Karupelv kan der være lignende høje lemmingtal i opbygningsfasen (vinteren 1988/89), men uden den samme respons i hermelinbestanden. Denne åbenlyse forskel mellem de to lokaliteter kan sandsynligvis forklares ved det markant større antal sneugler ved Karupelv som kan være med til at holde antal-

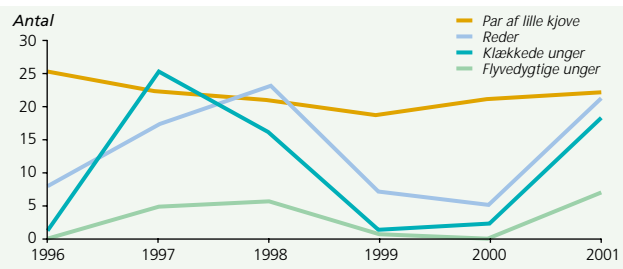
let af hermeliner længere nede end mængden af føde ellers gav mulighed for.

Anderledes ser det ud for lille kjove hvor de samme individer i høj grad vender tilbage og besætter de samme territorier år efter år. Antallet af kjoever svinger således kun lidt, men antallet af ægkuld er tydeligt afhængigt af lemmingbestandens størrelse ved ankomsten i juni (figur 39). Æglægning hos lille kjove er afhængigt af at moderfuglen kan opretholde en god foderstand efter ankomsten i juni. Hvis bestanden af lemminger er lav, er det kun en mindre del af kjoeverne der kan skaffe tilstrækkeligt med føde så de bliver i stand til at lægge æg. Selv om kjoeverne danner par og opretter territorier om foråret er det således langt fra givet at de påbegynder æglægning. Kun de år hvor føden er god og rigelig, dvs. i lemmingår, lykkes det størstedelen af kjoeverne at lægge æg.



Figur 38

Figuren viser at lemmingerne ved Karupelv og Zackenberg har svinget synkront i de sidste syv år hvor der har været undersøgelser i begge områder, mens hermelinerne har reageret delvis forskelligt. Det fremgår tillige at udsvingene i bestanden af lemminger er størst ved Karupelv (forskellen mellem bund og top er større). Derimod er der størst udsving i Zackenberg hvad angår antallet af vinterreder der er tømt af hermelin. Karupelv ligger 220 km syd for Zackenberg, og oplysninger herfra er venligst stillet til rådighed af B. Sittler.



Figur 39

Hvert år etablerer 20-25 par små kjoever territorier i Zackenbergdalen, men antallet af lemminger er afgørende for, hvor mange af dem der yngler (sammenlign med figur 38). Kun de år hvor der er mange lemminger tidligt på sæsonen, lægger kjoeverne æg og får nogle få unger på vingerne. Rævene æder resten.

Reproduktionsstrategier

Specielt i de højarktiske egne hvor landpattedyrene ikke alene er udsatte for strenge vintre, men også for store udsving i adgangen til føde, er selve timingen af drægtighedsperioden og fødselstidspunktet af afgørende betydning for ynglesuccesen. Målet er at ungerne skal være robuste ved sommerens begyndelse, så de kan vokse sig stærke i løbet af sommeren. De store klovdyr (rensyret og moskusoksen) har en lang drægtighed (ca. 8 måneder) da ungerne kort efter fødslen i maj skal være klar til at følge moderen. Sneharens drægtighed er meget kortere (7 uger), og de parrer sig derfor i april. Rovdyr har brug for at være smidige og hurtige, og de kan således ikke bære på deres fostre så lang tid. Ungerne er derfor meget hjælpeløse ved fødslen og stiller store krav til pasning. Ydermere skal hunnen være i god foderstand for at kunne opfostre ungerne.

Rovdyr har to muligheder for at time fødselstidspunktet i forhold til deres primære føde. De kan parre sig tidligt om foråret (polarræv, polarulv) for at føde i maj måned hvor udbudet af byttedyrenes unger kulminerer. Det stiller store krav til senvinterens føderessourcer, og det er netop her strenge vintre med mange dødsfald blandt f.eks. moskusokser kan være udslagsgivende (figur 40). Men et lemming-vintermaksimum kan også udløse en god ynglesucces hos polarræven der kan få op til 12 hvalpe.

Hermeliner, sæler og isbjørne benytter sig af den anden mulighed. De har alle forlænget drægtighed: Det befrugtede æg sætter sig først fast i livmoderen senere i graviditeten (hermelin: 9-10 måneder, sæl: 3-5 måneder, isbjørn: 5-6 måneder).

Hermelinen udnytter et godt lemmingår til at opbygge gode fødereserver der året efter giver store kuld. Sæler parer sig på isen om foråret, men da de også skal føde deres unger på isen bliver de nødt til at vente til næste år med fødslen.

Isbjørnens primære jagtmarker er fastis og pakis som rummer det største jagtpotentiale i foråret hvor sælerne har deres unger og fælder deres vinterpels.

For at bjørneungerne kan være klar til at følge moderen skal de fødes kort efter nytår midt i den arktiske vinter. De har da fire måneder til at forøge deres vægt fra 5-600 gram til ca. 12 kg. Derfor starter udviklingen af fosteret hos isbjørne først når den drægtige hun går i vinterhi i oktober.

Halsbåndlemmingen er modsat de førnævnte i stand til at yngle året rundt. Lemmingerne lever under snedækket i vinterhalvåret og er derfor mindre udsatte for vinterens barske betingelser. Desuden har de god adgang til føde det meste af året. Lemminger har derfor ikke særlige tilpasninger som dem der er beskrevet for prædatorerne ovenfor. Lemmingerne kan under gunstige forhold reproducere sig med enorm hast pga. en kort drægtighed, kort yngelpleje, store kuld (op til seks unger) og adskillige kuld pr. år.

Hermeliner har forlænget drægtighed så ungerne fødes i det tidlige forår, og ungerne vokser op mens føden i form af lemminger er maksimal.

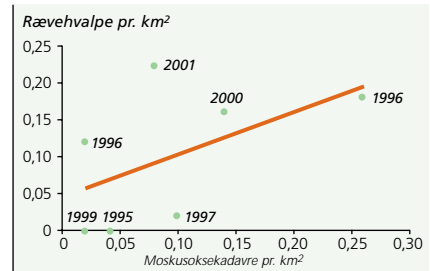


Da kjoerne lægger æggene på jorden, er antallet af æg der klækker og unger der kommer på vingerne påvirket af antallet af ræve (se også kapitel 8). Kjoerne er således ikke alene afhængige af, at der er år med mange lemminger. De er også afhængige af at der er mellemliggende år med få lemminger så bestanden af ræve "holdes nede". Så selv om kjoerne er på plads hvert år, lykkes det kun for et fåtal af dem at producere flyvefærdige unger. Modsat polarræven og hermelinen lever kjoerne ofte længe – op til 30 år eller mere – takket være deres liv som havfugle udenfor yngletiden. De behøver derfor ikke at yngle hvert år for at opretholde bestanden.

De uforudsigelige – fødegeneralisterne

Polarræven er en udpræget fødegeneralist. Den æder stort set alt spiseligt, den møder på sin vej. Det er derfor også langt sværere at give et enkelt bud på årsagen til variationen i antallet af polarræve i Zackenbergdalen og deres ynglesucces. Antallet af ræve varierer meget fra år til år, og det samme gør yngleaktiviteterne i dalens 10 rævegrave. Selv om lemminger udgør en stor del af polarrævens føde, er der ingen umiddelbar sammenhæng mellem antallet af lemminger og antallet af rævehvalpe. Derimod ser det ud til at polarræven lever højt på andres ulykke: Jo flere moskusoksekadavere der ligger i Zackenbergdalen – hvad enten de er dræbt af

polarulve eller er døde af sult i vinterens løb – desto flere hvalpe synes polarræven at have (figur 40).



Figur 40

Antallet af moskusoksekadavere den forgangne vinter synes at have en vis indflydelse på hvor mange rævehvalpe der bliver født i Zackenbergdalen.



Foto: Aurora Photo/Thomas B. Berg

Når en hermelin har ædt beboerne i en lemmingrede, "tapetserer" den ofte væggene med lemmingernes pels og flytter selv ind! Lemmingerede hvor "taget" er vippet til side.



Foto: Aurora Photo/Thomas B. Berg

Antallet af lemminger ser ikke ud til at påvirke antallet af rævekuld i Zackenbergdalen, men det har stor indflydelse på rævehvalpenes overlevelse.



Foto: Aurora Photo/Mads Forchhammer

Antallet af kjoepar i Zackenbergdalen er ret konstant fra år til år, men yngleaktiviteterne styres helt af mængden af lemminger.

Også Zackenbergelvens rige udbud af ørreder samt kyststrækningen langs fjorden er vigtige fourageringsområder. Men selv om det skulle lykkes polarræven at få hvalpe, er der nogle år mange hvalpe der dør i løbet af sommeren. Denne dødelighed skyldes nok i høj grad mangel på føde.

Hvor fødespecialisterne i høj grad kan påvirke størrelsen af bestandens udsving (amplituden) hos lemmingen kan polarræven i lemmingfattige år med gode alternative fødemuligheder holde lemmingerne under stadig pres. Selv om lemminger sandsynligvis i nogle år udgør en meget stor del af føden, er det svært at vurdere effekten af polarræven som prædator på lemmingerne. Mere detaljerede undersøgelser i sommeren 1998 og 1999 viste at

polarræve var årsag til 20-25% af dødsfaldene hos mærkede lemminger hvori mod kjoerne stod for over en tredjedel af dødsfaldene.

Fremtidige klimaændringer vil ramme prædatorerne forskelligt

Mere sne i Højarktisk regnes for en sandsynlig konsekvens af de forventede klimaændringer (se kapitel 1). Dette vil kunne få store direkte og indirekte konsekvenser for de højarktiske prædatorer. Stabilt klima skaber stabile økosystemer. Varmere vintre vil øge snemængden, men kan også give flere tøperioder og dermed isdannelser i snelaget. Sådanne ustabile vintre kan få katastrofale følger for de større planteædere. Lemmingen som lever hele vintre-

ren under sneen, bliver ikke i samme grad påvirket. Dog kan vintrene blive for ustabile selv for lemminger hvilket er en af årsagerne til at lemmingen ikke forekommer i lavarktisk Grønland hvor vintrene netop er særdeles ustabile. Polarræve og ulve vil umiddelbart nyde godt af sådanne katastrofievintre med mange døde moskusokser, men på lidt længere sigt vil en eventuel nedgang i antallet af byttedyr påvirke rovdyrbestanden negativt.

De indirekte effekter har indbygget en større tidsforskydning (se kapitel 2). Først skal planterne reagere på forandringerne i klimaet – f.eks. i form af øget plantedække – og dernæst vil der komme en reaktion hos planteæderne og dermed hos prædatorerne (se kapitlerne 9 og 10).

I forår med få lemminger lægger de fleste par af lille kjovent enten slet ikke æg, eller måske kun et enkelt mod "normalt" to. Men selv i gode yngleår er det kun få unger der kommer på vingerne. Til gengæld lever kjoerne ofte i 20-30 år eller mere, så de har mange chancer for at formere sig.



Foto: Biofoto/Erik Thomsen



Foto: Biofoto/Erik Thomsen

Isdækkets varighed har stor indflydelse på livet i søerne

Foto: DMU/Hans Mørtorfe



Kapitel 12

Af Kirsten Christoffersen, Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet og Erik Jeppesen, Afdeling for Ferskvandsøkologi, Danmarks Miljøundersøgelser

Sne- og isdækkets varighed i søer og damme er afgørende for vandtemperaturen og for mængden af næringsstoffer der frigøres fra de nære omgivelser. I år hvor isen smelter sent – dvs. langt inde i juli – bliver planteplanktonets fotosyntese begrænset af manglen på lys og næringsstoffer, og dermed produceres der mindre føde for det næste led i fødekæden, dvs. vandlopper og dafnier. Disse vil samtidigt vokse langsomt ved lavere vandtemperatur, og sammenlagt betyder det at et mere maritimt klima kan resultere i et dårligere fødegrundlag for fjeldørreden som er søernes top-prædator.

Der tages prøver i Langemandsø.

Boks 23

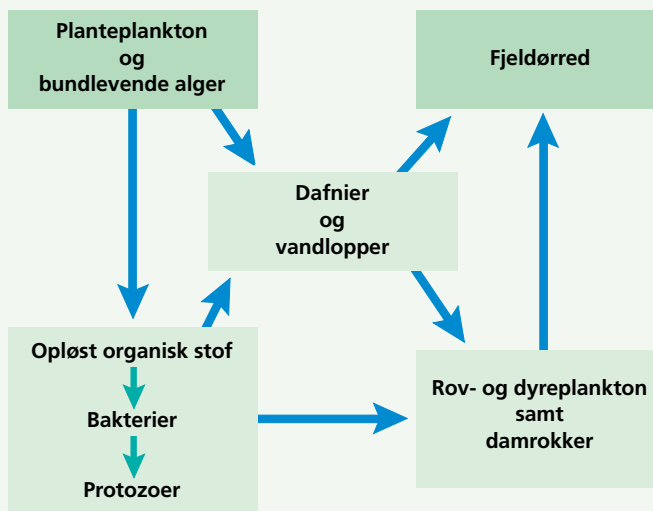
Fødekedde i søerne

Fra bakterier til fisk

En overvågningsperiode på fem år er kort, men alligevel tilstrækkelig lang til at give os et fingerpeg om hvordan tilstanden er i de to søer som siden 1999 har indgået i overvågningsprogrammet BioBasis ved Zackenberg. I 1997 og -98 indgik søerne i et forskningsprojekt der undersøgte den biologiske struktur i et stort antal søer i Grønland i relation til kemiske, fysiske og klimatiske forhold. Af de hidtil undersøgte søer i dette projekt (ca. 120) er 41 søer placeret i Zackenbergdalen og de omkringliggende dale.

De mange søer og damme i området udgør tilsammen et vandigt element i det overordnede økosystem. Vandområderne er i kontakt med det omgivende land og påvirkes heraf gennem afstrømning af smeltevand, vindbåren transport af organisk og uorganisk materiale (plantedele og jord) og af den biologiske aktivitet der foregår i og på tundraen.

I søer og damme er der bl.a. forskellige grupper af plante- og dyreplankton, fisk og vandplanter samt mikroorganismer som bakterier og protozoer (se boks 23). De to søer der indgår i overvågningsprogrammet, har nogenlunde samme størrelse (hhv. 1,7 og 1,1 ha) og en maksimumdybde på hhv. 1,8 m (Sommerfuglesø) og 6,1 m (Langemandssø), og de er særdeles næringsfattige. Isen på begge søer begynder at smelte langs land midt i juni, men de er som regel kun helt isfrie fra slutningen af juli til starten af september. I Langemandssø er der fjeldørreder, mens Sommerfuglesø er uden fisk. Hver sommer bliver der indsamlet oplysninger om isdække, vandtemperatur, vandkemiske forhold og forekomster af plante- og dyreplankton. Fiskebestanden er undersøgt i 1997 og skal undersøges igen i 2002.



Skematisk fremstilling af de vigtigste led i fødekæden i søerne i Nordøstgrønland. Den øverste del viser de led der indgår i den klassiske græsser-fødekedde, hvor planteplankton bliver ædt af dyreplankton (dafnier og vandlopper) som igen bliver ædt af rovdyr og disse igen af andre rovdyr.

Nederst er den såkaldte mikrobielle løkke vist. Den tager udgangspunkt i opløste organiske stoffer fra alger og andre organismer (via ekskretion og fækallier) og stoffer der tilføres fra omgivelserne (f.eks. humusstoffer). De opløste organiske stoffer bliver optaget af bakterier som derefter bliver ædt af protozoer (flagellater og ciliater). Dette mikrozooplankton bliver så ædt af dafnier og vandlopper. Dafnier er dog også i stand til at æde bakterier og kan derfor udnytte flere fødekilder end vandlopperne. En mindre del af primærproduktionen synker ned på bunden, enten fordi det ikke direkte kan udnyttes, eller fordi det allerede er delvist udnyttet og omformet til fækallier.

Et låg af to meter tyk is

Søer og damme i Nordøstgrønland er dækket af is det meste af året. Vi kender ikke tykkelsen præcist, men i starten af juni 1998 målte vi en istykkelse på 1,5-1,7 m i flere søer i området. Det er meget sandsynligt at den maksimale tykkelse er omkring 2 m, hvilket stemmer godt overens med andre søer i Nordøstgrønland. Det betyder, at søer og damme der er mindre end 2 m dybe, er bundfrosne gennem hele sen vinteren og foråret. Isen kan være dækket af et lag sne

på 0,5-1 m – især når vinterstormene har flyttet rundt på snemasserne.

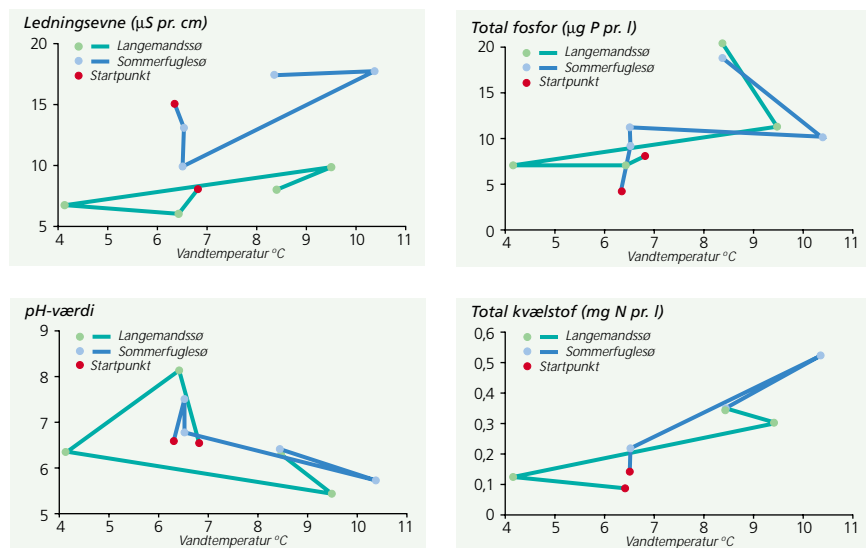
I de fem undersøgte år har datoen for 50% isdække i Sommerfuglesø og Langemandssø varieret med næsten en måned. Det tidligste år var 2000 hvor begge søer havde 50% isdækning i slutningen af juni (hhv. 24. og 30. juni). I 1999 var der meget sne og den lå længe, og her var der 50% isdække så sent som i slutningen af juli (hhv. 18. og 21. juli for de to søer).

Store forskelle i fysisk-kemiske forhold fra år til år

De klimatiske forskelle mellem årene har haft stor betydning for mængden af næringsstoffer i søerne. Vandtemperaturen er højere i de år hvor sneen smelter tidligt. Vandtemperaturen er mere påvirket af sneens tykkelse i forsommeren og hvornår sneen smelter end af lufttemperatu-

ren om sommeren. Koncentrationen af fosfor og ikke mindst kvælstof i søerne følger temperaturerne nøje, og mængden af næringsstoffer var således højest i 2000 og 2001 hvor vandtemperaturen var høj (figur 41). De højere koncentrationer af næringsstoffer i varme år skyldes formentlig at der er en øget tilførsel af nærings-salte og humusstoffer fra søernes nære

omgivelser. Dette understøttes af at pH-værdier i søerne samtidig er lavere (mere surt miljø) (figur 41). Et andet tegn på øget tilstrømning er at vandet i søerne havde en større ledningsevne (udtryk for mængden af næringssalte) i 2000 og 2001. Den større tilførsel skal nok forklares med en større omsætning af tørv i år med hurtig sneafsmeltning.



Figur 41

Sammenhængen mellem vandkemien (ledningsevne, pH, total fosfor og total kvælstof) og vandtemperaturen i hhv. Langemandsø og Sommerfuglesø i perioden 1997-2001. Hvert punkt er et gennemsnit af de indsamlede prøver i et givent år. Punkterne er forbundet i tidsmæssig rækkefølge, startende ved 1997 hvor temperaturen var 6-7°C. For ledningsevne, fosfor og kvælstof er der en positiv sammenhæng, mens sammenhængen er negativ for pH. Tidspunktet for isens forsvinden er afgørende for vandtemperaturen, og disse sammenhænge viser samstemmende at der er mere næring og dermed mere produktion i søerne i år hvor isen smelter tidligt (se teksten).



Foto: DMU/Erik Jeppesen

Der er mange mindre søer og damme i området omkring Zackenberg. Søerne er i gennemsnit blot nogle få meter dybe, mens dammene er mere lavvandede og bundfryser om vinteren. Der lever fjeldørreder i flere af de dybere søer, dvs. søer med en maksimumdybde større end 3 m. Der er to former af fjeldørreder: Vandrende fjeldørreder som er store og svømmer ud i havet for at fouragere i sommerperioden, og små stationære fjeldørreder der er afskåret fra havet og derfor må leve af hvirvelløse dyr der findes i vandet og på søbunden – eller som kannibaler.

Når lyset trænger ned i søvandet

Planter og dyr er allerede aktive, inden isen er forsvundet. Den øgede indstråling i april-maj resulterer i at der trænger tilstrækkeligt med lys ned gennem sne- og islaget til at planteplanktonets fotosyntese går i gang, og mængden af planteplankton stiger (*udtrykt som klorofyl i figur 42*). Det er altså ikke

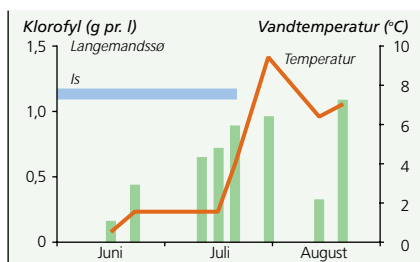
vandtemperaturen men lyset der er den begrænsende faktor for primærproduktionen på dette tidspunkt. Mens isen langsomt smelter, går væksten i planteplanktonet i stå. Det skyldes hovedsageligt, at de meget begrænsede mængder af næringsstoffer – især opløst kvælstof og fosfor – bliver brugt op i løbet af kort tid. Mængden af planteplankton (klorofyl)

varierer fra år til år og mellem de to søer (*figur 43*), og noget af denne variation kan forklares ud fra år til år ændringer i mængden af næringsstoffer. Forskelle i søernes generelle klorofylindhold må til gengæld skyldes andre forhold som bl.a. planteplanktonets artssammensætning og indirekte fiskene (se nedenfor).

Den korte men livlige fødekæde

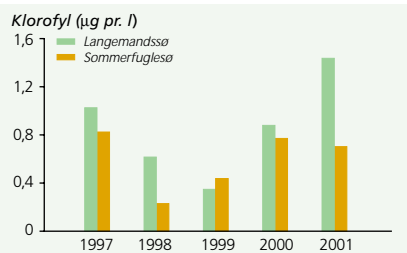
Samfundet af planteplankton i de to søer er typisk for næringsfattige arktiske søer. Der er repræsentanter for slægter af især furealger (Dinophyceae) og gulalger (Chrysophyceae), men der er også grønalger (Chlorophyceae) og kiselalger (Diatomophyceae). En typisk og hyppigt forekommende gulalgeslægt er *Dinobryon* (se foto), panserflagellaterne er repræsenteret ved *Gymnodinium* spp. og *Peridinium* spp., og blandt grønlagene dominerer især *Koliella longiseta*. Derudover findes der forskellige nøgne flagellater og små grønalger.

Vi har kun registreret mængden og fordelingen af de forskellige arter af planteplankton i to år (hhv. 1999 og 2001), men da disse repræsenterer år med hhv. sen og tidlig afsmeltning af isen, er det muligt at se på forskellene på de to søer (*figur 44*). I 1999 lå isen langt ind i juli, og den gennemsnitlige vandtemperatur var derfor lav. Det år udgjorde gulalger og furealger tilsammen 93% af den totale mængde planteplankton i Sommerfuglesø. I den dybere og koldere Langemandssø udgjorde furealgerne 89% af planteplanktonet. I 2001 smeltede isen ca. to uger tidligere. Det år var planteplanktonet helt domineret af gulalger (94-95% af den totale mængde af planteplankton) i begge søer. Den samlede mængde planteplankton var omtrent dobbelt så stor i 2001 som i 1999 for begge søer hvilket passer godt med det højere næringsstofniveau (*figur 41*).



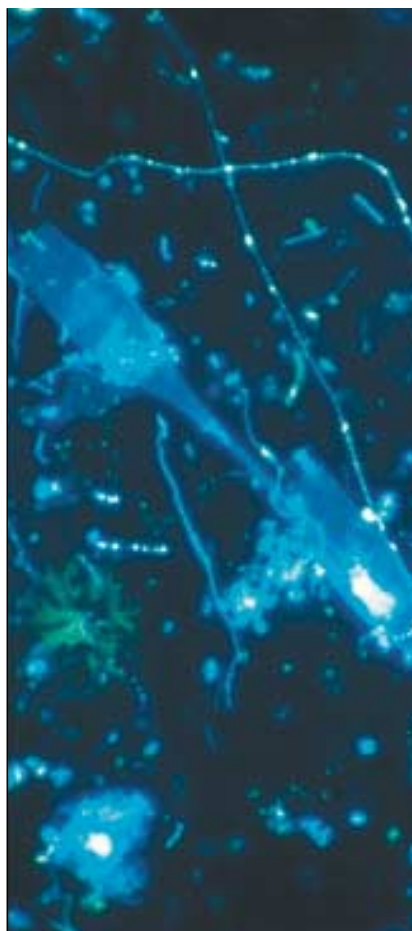
Figur 42

Mængden af planteplankton (søjler), vandets temperatur og perioden med islæg i Langemandssø i juni-august 1998. Klorofyl bliver her brugt som mål for mængden af planteplankton. Det ses tydeligt at mængden af planteplankton stiger gennem juni og juli, selv om der fortsat er islæg og temperaturen er lav. Temperaturen har altså ikke nogen større betydning for produktionen af planteplankton – det har lyset derimod.



Figur 43

Koncentrationen af klorofyl i Sommerfuglesø og Langemandssø har varieret ganske meget i løbet af de fem undersøgelsesår.



Dinobryon er en hyppig og iøjnefaldende slægt af gulalger. De 4-8 mm lange flagelbærende celler sidder i små "huse" som igen danner større kolonier.

Boks 24

Vandlopper

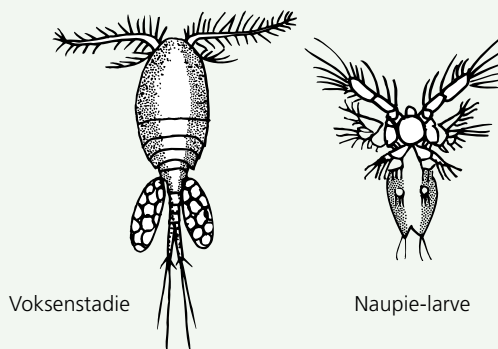
Den lave gennemsnitlige vandtemperatur og de lavere næringsstofkoncentrationer i 1999 betyder tydeligvis at mængden af planteplankton er mindre og domineres mere af furealger end i den varmere sæson i 2001 med dominans af gualalger. Alger som lever på sten og grus i søbunden, udgør en stor del af den samlede primærproduktion, men indgår ikke i overvågningen.

Det næste led i fødekæden er dyreplankton (se boks 23) der både lever af planteplankton og andre mikroorganismer såsom bakterier og ciliater. Der er kun få arter af dyreplankton i søerne ved Zackenberg, og sammensætningen af arterne er i høj grad styret af om der er fisk i søen eller ej. Dette ses tydeligt på dyreplanktonet i de to søer (figur 45). Langemandssø har en bestand af dværgformen af fjeldørred (på grund af for lidt føde bliver kønsmodne fisk kun 12-16 cm (se foto side 81)) og et næsten totalt fravær af større dafnier (*Daphnia pulex*), som fiskene æder. Derimod er der vandlopper (bl.a. *Cyclops abyssorum*) i nogenlunde samme mængde i de to søer, men der er stor forskel på antallet af hjuldyr (især *Polyarthra* sp.). Hjuldyrene nyder sandsynligvis godt af at deres største konkurrenter, dafnierne, er så godt som udryddet af fiskene. Fiskene er nemlig ikke særlig gode til at fange hjuldyr. Desuden er udviklingen af vandlopperne (se boks 24) langt mere fremskreden i august i de år hvor temperaturen er høj. Det gælder dog i mindre grad i Sommerfuglesø, formentlig fordi konkurrence med dafnier om føden her forsinket udviklingen.

Den samlede mængde dyreplankton var 2,5 gange større i 2001 end i 1999 i begge søer. Årsagen er sandsynligvis at der var en større mængde planteplankton i 2001. Desuden var mængden af dyreplankton begge år omkring dobbelt så stor i Som-

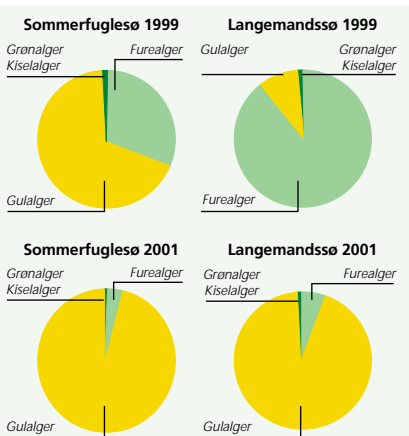
Fritsvømmende vandlopper er små (0,5 til 5 mm) krebsdyr som findes i næsten alle vandige miljøer. De har kønnet forering, og hunnerne bærer de befrugtede æg i poser på siden af kroppen (se illustration). Æggenes klækningstid afhænger af temperaturen ligesom det er tilfældet for længden af de efterfølgende mange udviklingsstadier. Først gennemfører larven 4-6 nauplielarvestadier og derefter 5-6 copepoditstadier (ligner voksenstadiet). Undervejs skifter den hud flere gange.

Det kan tage fra 10 dage til mere end en måned for vandloppen at udvikle sig fra æg til voksent individ.



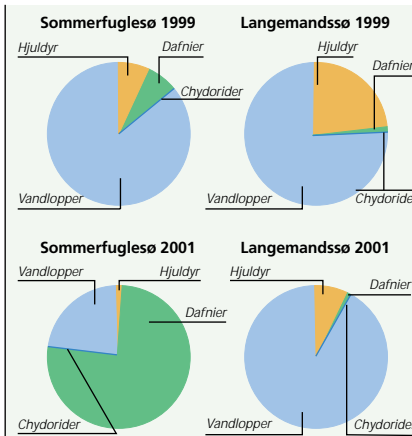
Voksenstadie

Naupie-larve



Figur 44

Sammensætning af planteplankton (gennemsnit af tre prøver pr. år) i Langemandssø og Sommerfuglesø i 1999 og 2001. Den samlede biomasse (vægtmængden) er i begge år ca. dobbelt så stor i Langemandssø som i Sommerfuglesø. Gualalger dominerede væsentligt mindre i begge søer i det sent isfrie år 1999 end i det tidlige år 2001 (se teksten).



Figur 45

Forholdet mellem biomassen (vægtmængden) af forskellige grupper af dyreplankton i midten af august 1999 og 2001 i hhv. Langemandssø og Sommerfuglesø. Den samlede vægt af dyreplankton var ca. 2,5 gange højere i 2001 i begge søer og omkring dobbelt så stor i Sommerfuglesø som i Langemandssø i begge år. Der er meget få dafnier i Langemandssø hvor fjeldørrederne æder dem - til gengæld er der flere små cladoceer (chydorider) og hjuldyr.

merfuglesø som i Langemandssø hvilket understreger fiskenes rolle. Der var også stor forskel på den relative betydning af arterne årene imellem (figur 45 og 46). Mens vandlopper dominerede biomassen i 1999 i begge søer var dafnier dominerende i Sommerfuglesø i 2001. Desuden faldt andelen af hjuldyr i begge søer fra 1999 til 2001. Hjuldyrene reagerer tilsyneladende negativt på en højere temperatur, men årsagen er formentlig snarere at dafnier og vandlopper får større betydning og dermed bliver større fødekongurrenter i varme år. Den mindre andel af dafnier og vandlopper i 1999 skyldes givetvis den lavere temperatur som især rammer de store arter.

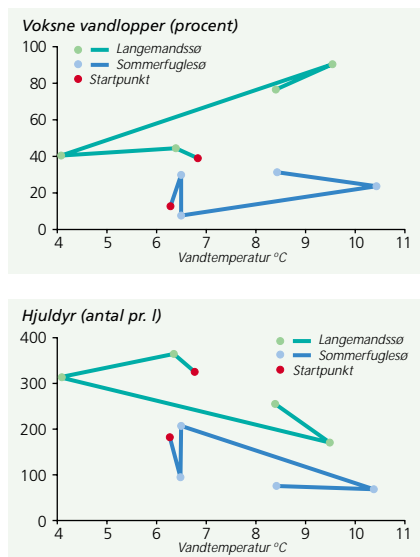
Hvis klimaet ændrer sig

Resultaterne fra de første fem år viser altså at forandringer i klimaet resulterer i markante ændringer i både fysisk-kemiske og biologiske forhold i søerne. De forskellige planktongrupper reagerer således hurtigt

på ændringerne. Det er dog vanskeligt at vurdere hvordan de forventede klimaændringer vil påvirke søer og damme i Zackenbergsområdet. Flere forhold synes at være direkte koblede til en ændring i temperaturen og nedbøren og at være meget følsomme overfor sådanne ændringer:

- 1 En større mængde sne og deraf følgende senere snesmeltning kan føre til længere islæg og lavere vandtemperatur som igen betyder en kortere vækstsæson og lavere næringsstofforsyning. Den lavere vandtemperatur er i sig selv næppe en begrænsning da de fleste dyr og planter er tilpasset et liv ved meget lave temperaturer. Derimod vil en kortere vækstsæson resultere i at der er mindre tid til rådighed for planter og dyr til at gennemføre en livscyklus. Desuden vokser dyreplanktonet langsommere, fordi de får mindre føde, men dyreplanktonet vil formentlig stadig kunne nå at reproducere sig.

- 2 Mere nedbør om sommeren vil også føre til en større afstrømning og dermed større udvaskning. Det kan betyde tilførsel af flere organiske og uorganiske stoffer, men muligvis også tilførsel af silt (ler) i de søer der får vand fra en gletcher. Flere næringsstoffer giver mulighed for øget planteproduktion. Dette kan på længere sigt medføre iltsvind under isen om vinteren og dermed at fjeldørrederne dør – ikke mindst i lavvandede søer hvor vandvolumenet under isen er beskedent. Mere silt betyder at lyset ikke kan trænge ned i vandet, og det betyder mindre fotosyntese og dermed mindre primærproduktion.
- 3 Mere nedbør om sommeren eller tidlig sneafsmeltning vil også betyde øget tilførsel af humusstoffer. Det betyder øget omsætning via bakterier og andre smådyr som igen kan forbedre fødebetingelserne for de lidt større dyr. Men der er også større risiko for iltsvind om vinteren, når søerne er dækket af is. Omvendt vil et større indhold af humus betyde en bedre beskyttelse af fisk og smådyr mod ultraviolette stråler, fordi de ikke længere trænger så dybt ned i søvandet (vandet er mindre klart). Det kan betyde at krebsdyr ikke behøver at danne så kraftigt et pigment hvilket vil mindske risikoen for at de bliver set og ædt. Mindre ultraviolet stråling vil sandsynligvis også øge antallet af fiskeæg der klækker og mere fiskeyngel vil overleve. Dette gælder ikke mindst i de lavvandede søer som på grund af deres ringe dybde er særligt udsatte for de negative effekter af den ultraviolette stråling. En kort sæson med isfrie forhold og øget skydække mindsker desuden både omfanget og varigheden af påvirkningen fra de ultraviolette stråler.



Figur 46

Vandets temperatur har betydning for antallet af hjuldyr og andelen af de senere udviklingsstadier (copepoditter og voksne) af vandlopper i forhold til det totale antal vandlopper i hhv. Langemandssø og Sommerfuglesø i perioden 1997-2001. Hvert punkt er et gennemsnit af de indsamlede prøver i et givent år, og de er forbundet i tidsmæssig rækkefølge, startende ved 1997 hvor temperaturen var 6-7°C. Der er positiv sammenhæng mellem temperaturen og andelen af voksne vandlopper, mens der er færre hjuldyr, jo varmere vandet er (se teksten).

Ordliste og supplerende litteratur

Abiotisk faktor – fysisk eller kemisk påvirkning fra omverdenen som har betydning for en levende organisme

Arktis – den nordligste skovløse del af Jorden (se boks 1)

Atmosfæren – luften omkring Jorden

Bestand – gruppe af dyr eller planter af samme art der lever adskilt fra andre grupper af samme art (også benævnt population)

Bestandsdynamik – ændringer i tid og rum i en bestands størrelse eller tæthed

Biofysiske elementer – biologiske enheders fysiske udformning, f.eks. bladareal

Biotisk faktor – levende element i omverdenen der påvirker et dyr eller en plante, f.eks. i form af konkurrence om føde og lys

Cellulose – det stof cellevægge i planter er opbygget af

CFC-gasser – ikke-giftige gasser der består af Chlor-Fluor-Carbonforbindelser, bliver især anvendt som kølemiddel, nedbryder ozonlaget i atmosfæren

Ciliater – gruppe af encellede dyriske organismer

Copepod – vandloppe (krebsdyr)

Drivhuseffekt – betegnelse for det fænomen at kultveilte og en række andre stoffer i atmosfæren absorberer Jordens varmeudstråling, hvorved temperaturen på Jorden stiger når mængden af kultveilte øges ved afbrænding af fossilt brændstof

Drivhusgas – stoffer i atmosfæren som vanddamp, kultveilte (CO₂), metan (NH₄) og kvælstofilter (NO_x) der absorberer Jordens varmeudstråling

Fenoler – aromatiske forbindelser

Flagel – hårlignende cellevedhæng der får cellen eller det omgivende vand til at bevæge sig

Fossilt brændstof – organisk materiale som under tryk er omdannet til olie, kul og gas

Fotosyntese – den proces hvor planterne fanger lysenergi og omdanner kultveilte (CO₂) og vand (H₂O) til kemisk energi i form af sukkerstoffer

Fænologi – tidsmæssigt forløb af f.eks. planternes blomstring

Fødekæde – en hierarkisk beskrivelse af organismer, hvor hver organisme er føde for den næste organisme i kæden; f.eks. plante→lemming→polarræv

Genetik – arvelighedslære

Græsningstryk – hvor kraftigt vegetationen i et område bliver udnyttet af planteædere

Habitat – levested

Halvgræsser – plantefamilie der ligner plantefamilien græsser (omfatter star og kæruld)

Hemisfære – halvdel af Jorden; f.eks. den nordlige

Højarktis – den nordligste del af Arktis (se boks 1)

Ikke-lineær proces – en proces/sammenhæng der ikke kan beskrives ved en ret linie; f.eks. vokser et dyr hurtigt indtil det er voksent, hvorefter det ikke vokser mere

Iltsvind – mangel på ilt f.eks. i vandområder; oftest forårsaget af forrådnelse af organisk materiale

Interaktioner – vekselvirkning, samspil

Interaktions-koefficient – en talværdi der beskriver sammenhængen mellem to organismers vekselvirkning; f.eks. betyder en negativ talværdi mellem lemming og polarræv at ræven, fordi den spiser lemminger, har en negativ effekt på bestanden af lemminger

Interspecifikke faktorer – mellem forskellige arter, f.eks. påvirkningen fra mængden af planter på antallet af lemminger og antallet af lemmingers påvirkning af antallet af hermeliner

Intraspecifikke faktorer – mellem individer af samme art, f.eks. stress blandt lemminger på grund af for mange dyr samlet inden for et areal

Karplanter – gruppe af planter som omfatter blomsterplanter og karsporeplanter også kaldet højere planter, såsom valmuer, stenbræk, mælkebøtter og blåklækker

Karsporeplanter – gruppe af planter der formerer sig ved hjælp af sporer, f.eks. bregner og padderokker

Klimaeffekter – følgevirkningerne af at klimaet forandrer sig

Klimasvingninger – periodevise forskelle i klimaet

Klorofyl – pigmenter (grønkorn) i planterne hvor fotosyntesen foregår

Konfidens – mål for at en given værdi ligger indenfor en defineret grænse for sandsynlig sammenhæng

Korrelationskoefficient – værdi som angiver i hvor høj grad der er sammenhæng mellem to eller flere variable

Kromosom – de strukturer i cellerne som indeholder de arvelige egenskaber

Kulstof – grundstof (C) som er en vigtig bestanddel i alt organisk materiale

Kultveilte – luftarten CO₂ (også benævnt kuldioxid)

Kvalitative effekter – kvalitetsmæssig betydning

Kvantitative effekter – mængdemæssig betydning

Kvartærtiden – den "fjerde" periode i Jordens geologiske historie, dvs. istiderne og nutiden

Kvælstof – grundstoffet nitrogen (N), næringsstof for planter

Lavarktis – den sydlige del af Arktis (se boks 1)

Leddyr – insekter, spindlere og krebsdyr m.fl.

Ledningsevne – udtryk for mængden af opløste ioner i eksempelvis vand

Levende ressourcer – planter og dyr

Livscyklus – livsforløbet for et dyr eller en plante

Livshistoriestrategi – planter og dyrs måde at tilpasse deres livscyklus til de forhold, de lever under

Marin – vedrørende havet

Mediandato – den dato hvor eksempelvis halvdelen af fuglene har lagt deres æg

Mikrobiologisk nedbrydning – nedbrydning af organisk stof udført af mikroorganismer

Mikroorganismer – bakterier, svampe, encellede dyr m.fl.

Morfologi – fysiske udformning

Ozonlag – et lag af stoffet ozon ca. 25 km over Jordens overflade som beskytter livet på Jorden mod ultraviolette stråler fra Solen

Permafrost – jordlag der permanent er frosset

Plankton, plante- og dyre- – små planter og dyr der lever frit i vand

Primærproduktion – produktion af organisk stof ud fra uorganiske stoffer og lysenergi (se også fotosyntese)

Protein – æggehviteprotein, organisk stof som er opbygget af kæder af aminosyrer

Protozo – encellet dyr, f.eks. tøffeldyr og amøber

Prædator – dyr der lever af andre dyr

Reproduktion – formering

Respiration – ånding/forbrænding, nedbrydning af organisk stof under forbrug af ilt

Retrospektiv – tilbageblik; en retrospektiv analyse undersøger forhold tilbage i tiden

Scenarie – konstrueret fremtidsbillede, tænkt situation

Sediment – aflejringer af vand- eller luftbåret materiale

Sonisk – med lyd som f.eks. i et økosystem

Statistisk signifikant – der er mindst 95% sandsynlighed for at resultatet ikke er tilfældigt

Stof, organisk og uorganisk – organisk materiale (f.eks. alger og sukker) og uorganisk materiale (f.eks. sand og ilt)

Stratosfære – den del af atmosfæren der ligger over troposfæren, dvs. i ca. 10-50 km's højde

Temperaturinversion – luftlag hvor temperaturen i modsætning til normalt, stiger med højden

Tempererede områder – klimazonen mellem Arktis/Antarktis og subtropenerne

Terrestrisk – vedrørende landjorden

Tilvækst – den samlede vækst af en bestand over tid

Transekt – en linie tværs gennem landskabet der bliver fulgt f.eks. under optælling af planter og dyr

Trofisk niveau – et led i fødekæden; planterne er f.eks. første trofiske niveau i fødekæden planter→moskusokse→polarulv

Tundra – kærvegetation i Arktis, men bruges også generelt om områder her med lav vegetation

Tæthed – antallet af dyr/planter pr. arealenhed

Ultraviolette stråler – kortbølget stråling fra solen som ikke kan ses af øjet og som kan være skadelig for levende organismer

Vadeflade – lavvandet område der skiftevis er tørlagt og vanddækket

Vandkemi – uorganiske stoffer i vand

Økosystem – sammensætningen af plante- og dyrearter, deres samfund samt de fysiske rammer, de lever i

Supplerende litteratur

Climate Change Research – Danish Contributions

A.M.K. Jørgensen, J. Fenger og K. Halsnæs (red.). Danmarks Meteorologiske Institut, Gads Forlag, 2001.

Det Grønne Grønland

Tyge W. Böcker. Rhodos, 2000.

Ecosystem Vulnerability to Climate Change in Greenland and the Faroe Islands

H.S. Heide-Jørgensen og I. Johnsen. Miljønyt nr. 33. Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, 1998.

Grønlands Biodiversitet – et landestudie

D.B. Jensen (red.). Teknisk rapport nr. 27, Pinngortitalerifik, Grønlands Naturinstitut, 1999.

Grønlands Fauna. Fisk – Fugle – Pattedyr

Finn Salomonsen (red.). Gyldendal, 1990.

Grønlands Økologi – en grundbog

E.W. Born og J. Böcher (red.). Atuakkiorfik Undervisning, 1999.

Insekter og andre smådyr – i Grønlands fjeld og ferskvand

Jens Böcher. Forlaget Atuagkat, 2001.

Topografisk Atlas Grønland

Bjarne Holm Jakobsen m.fl. (red.). Det Kongelige Danske Geografiske Selskab og Kort & Matrikelstyrelsen, C.A. Reitzels Forlag, 2000.

Hjemmesider

Beskrivelser af hele BioBasis-programmet i Zackenberg, data m.m.m.:

<http://biobasis.dmu.dk>

Jordens tempererede skove bliver grønnere:

<http://cybele.bu.edu>

Verdens førende center for klimaforskning:

<http://www.met-office.gov.uk/research/hadleycentre/index.html>

Grønlands Naturinstitut i Nuuk:

<http://www.natur.gl>

Zackenberg Forskningsstation:

<http://www.zackenberg.dk>

Tidligere TEMA-rapporter fra DMU

- 11/1997: En atmosfære med voksende problemer..., luftforureningens historie**
Jes Fenger, 64 sider, Kr. 90,-.
- 12/1997: Reservatnetværk for vandfugle**
Preben Clausen m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.
- 13/1997: Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning**
Brian Kronvang m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- 14/1997: Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktion – muligheder og risici**
Niels Bohse Hendriksen m.fl., 28 sider, Kr. 40,-.
- 15/1997: Kemikalier i hverdagen**
Suresh C. Rastogi m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- 16/1997: Luftkvalitet i danske byer**
Finn Palmgren m.fl., 64 sider, Kr. 90,-.
- 17/1998: Olieeftersforskning og miljø i Vestgrønland**
David Boertmann m.fl., 56 sider, Kr. 80,-.
- 18/1998: Bilisme og miljø – en svær balance**
Mette Jensen m.fl., 48 sider, Kr. 60,-.
- 19/1998: Kemiske stoffer i landbruget**
John Jensen m.fl., 32 sider, Kr. 40,-.
- 20/1998: Naturen og landbruget**
Rasmus Ejrnæs m.fl., 76 sider, Kr. 100,-.
- 21/1998: Skov og skovvandløb**
Nikolai Friberg, 32 sider, Kr. 40,-.
- 22/1998: Hvordan står det til med naturen?**
Michael Stoltze, 76 sider, Kr. 100,-.
- 23/1998: Gensplejsede planter**
Christian Damgaard m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- 24/1999: Danske søer og deres restaurering**
Martin Søndergaard m.fl., 36 sider, Kr. 50,-.
- 25/1999: Tropisk diversitet – skov og mennesker i Ecuador**
Flemming Skov m.fl., 48 sider, Kr. 60,-.
- 26/1999: Bekæmpelsesmidler – anvendelse og spredning i miljøet**
Betty Bügel Mogensen m.fl., 64 sider, Kr. 80,-.
- 27/1999: Giftige alger og algeopblomstninger**
Hanne Kaas m.fl., 64 sider, Kr. 80,-.
- 28/1999: Dyreplankton i danske farvande**
Torkel Gissel Nielsen m.fl., 64 sider, Kr. 80,-.
- 29/1999: Hvor kommer luftforureningen fra?**
Jytte Illerup m.fl., 32 sider, Kr. 40,-.
- 30/1999: Bundmaling til skibe – et miljøproblem**
Signe Foverskov m.fl., 48 sider, Kr. 60,-.
- 31/2000: CO₂ – Hvorfra, hvorfor, hvor meget?**
Jes Fenger, 40 sider, Kr. 40,-.
- 32/2000: Risiko og usikkerhed – miljø og fødevarer**
Hans Løkke, 52 sider, Kr. 50,-.
- 33/2000: De gode, de onde og de grusomme bakterier**
Bjarne Munk Hansen m.fl., 60 sider, Kr. 40,-.
- 34/2000: Planter i vandløb – fortid, nutid og fremtid**
Annette Baattrup-Pedersen, 36 sider, Kr. 40,-.
- 35/2000: Fugle i Tøndermarsken – bestandsudvikling og landbrug**
Lars Maltha Rasmussen m.fl., 50 sider, Kr. 50,-.
- 36/2001: Modeller i miljøkemien - hvad kan de bruges til?**
Patrik Fauser m.fl., 40 sider, Kr. 40,-.
- 37/2001: Borte med blæsten? Modeller til vurdering af luftforurening**
Jørgen Brandt m.fl., 54 sider, Kr. 50,-.
- 38/2001: Minedrift og miljø i Grønland**
Poul Johansen m.fl., 56 sider, Kr. 50,-.
- 39/2002: Rådyret – fra fåtallig til almindelig**
Carsten Riis Olesen m.fl., 60 sider, Kr. 50,-.
- 40/2002: Barrierer i landskabet**
Aksel Bo Madsen m.fl., 56 sider, Kr. 50,-.

De enkelte hæfter i serien "TEMA-rapport fra DMU" beskriver resultaterne af DMU's forskning inden for et afgrænset område. Rapporterne er skrevet på letforståeligt dansk og henvender sig til alle, der er interesseret i miljø og natur. Serien er udformet så den kan bruges i undervisningen i folkeskolens ældste klasser og i gymnasiet.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser – DMU – er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Danmarks Miljøundersøgelser

Postboks 358
Frederiksborgvej 399
4000 Roskilde
Tel: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

Direktion
Forsknings- og Udviklingssektion
Personale- og Økonomisekretariat
Afdeling for Arktisk Miljø
Afdeling for Atmosfærisk Miljø
Afdeling for Marin Økologi
Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afdeling for Systemanalyse

Danmarks Miljøundersøgelser

Postboks 314
Vejløvej 25
8600 Silkeborg
Tel: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Afdeling for Ferskvandsøkologi
Afdeling for Terrestrisk Økologi

Danmarks Miljøundersøgelser

Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønde
Tel: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 14

Afdeling for Kystzoneøkologi
Afdeling for Landskabsøkologi

Publikationer:

DMU udgiver temarapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMUnyt. En database med DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængelig på: www.dmu.dk

Sne, is og 35 graders kulde

Hvad er effekterne af klimaændringer i Nordøstgrønland?

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet



Hans Meltofte (red.)

På en ny forskningsstation ved Zackenberg i det centrale Nordøstgrønland skal forskerne forsøge at udrede hvad effekterne bliver af de forventede klimaændringer - uanset om de er resultatet af naturlige svingninger eller skyldes den menneskeskabte forøgelse af drivhuseffekten. Foruden en lang række forskningsprojekter gennemføres her en løbende overvågning – eller monitoring – af naturen. Oplysningerne skal bl.a. bruges til at dokumentere udviklingen i plante- og dyrelivet i højarktisk Grønland og til at påvise årsagerne til eventuelle ændringer.



Der er tre monitoringsprogrammer i gang ved Zackenberg i Nordøstgrønland – KlimaBasis, GeoBasis og BioBasis. Programmerne dækker hver sin del af økosystemet ved Zackenberg. Denne temarapport omhandler udelukkende monitoringsprogrammet BioBasis som forsøger at følge ændringerne i et bredt udvalg af de plante- og dyresamfund der er karakteristiske for højarktisk Grønland. Formålet med denne temarapport er at give et indblik i naturovervågningen i Nordøstgrønland, præsentere nogle af de første resultater og diskutere de retninger plante- og dyrelivet kan udvikle sig i, såfremt klimaet ændrer sig som forudsagt af FN's klimapanel.

Rapporten er udgivet med støtte fra Miljøstyrelsens program for Miljøstøtte til Arktis.

ISBN 87-7772-663-4 ISSN 0909-8704