

# ZACKENBERG – ET HOLISTISK STUDIE AF KLIMAEFFEKTER



Klimaet er kommet på dagsordenen. De seneste årtiers markante ændringer i Jordens vejrforhold har skabt et stort behov for forståelse ikke alene af hvordan større klimasystemer påvirker vejret, men i høj grad også af hvilke biologiske konsekvenser sådanne ændringer i klimaet har. Dette er ikke en ny interesse. Forskere har siden Charles Darwins banebrydende arbejde i midten af 1800-tallet været interesserede i hvordan forskellige vejrforhold påvirker mange vidt forskellige organismer. Ikke overraskende finder

Af Mads C. Forchhammer,  
Torben R. Christensen,  
Hans Meltofte & Morten Rasch

man at de fleste organismer reagerer på ændringer i vejret.

I Arktis var den danske zoolog Christian Vibe en af de første til undersøge hvorledes langtidsændringer i antallet af en række større dyrear-

ter svingede sammen med ændringer i klimaet. Ikke alene var hans arbejde med til at understrege vigtigheden af at studere effekter af klima over længere tidsperioder, men i høj grad også for vigtigheden af at undersøge klimaeffekter på flere arter samtidig. På den måde kan man finde ud af om forskellige arter der lever i samme område, reagerer ens på de samme ændringer i klimaet.

En hvilken som helst organisme er en del af et økosystem. Således ved man at både lækatten og den lille kjoves



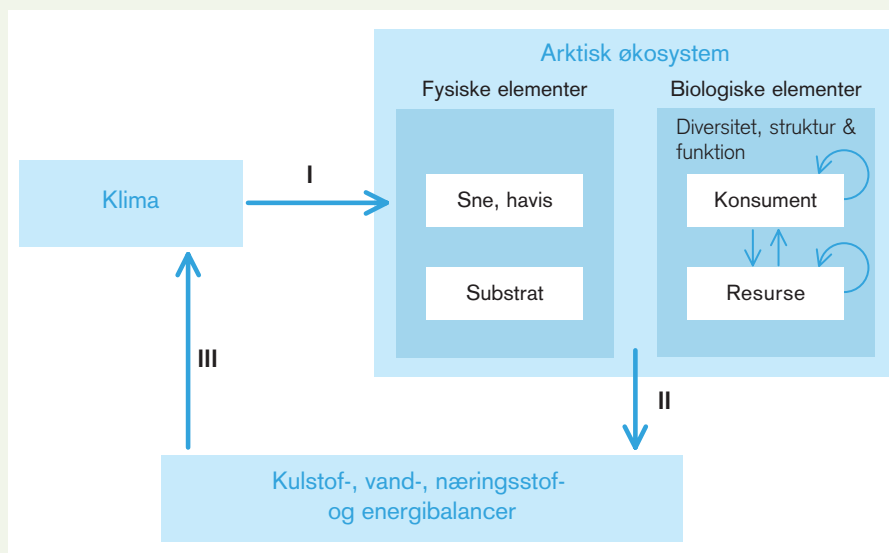
*1. Den lille kjoves yngleaktiviteter er tæt relaterede til antallet af lemminger. Kjøverne ankommer hvert år omkring 1. juni til deres gamle territorier, men de fleste par undlader at lægge æg i år med få lemminger. Dels kan de voksne fugle ikke opretholde kropskonditionen, dels ville der alligevel ikke være føde nok til at opfostre ungerne. (E. Thomsen)*



Overordnet kan effekterne af klimaændringer på et økosystem summeres op som en to-vejs proces:

For det første vil ændringer i de store omfattende atmosfære-hav-klimasystemer forårsage ændringer i lokale fysiske forhold udtrykt ved ændrede sne- og isforhold (pil I), fx har svingninger i det store klimasystem kaldet Den Nordatlantiske Oscillation (NAO, *boks 3*) gennem de sidste 35 år forårsaget ændringer i lokale sneforhold. Sådanne ændringer vil påvirke sammensætningen og funktionen af de biologiske komponenter i økosystemet, fx vil ændringer i sneforhold på den ene side påvirke moskusoksernes adgang til deres fødeplanter, men på den anden side samtidig påvirke planternes vækst og stofskifte.

For det andet vil ændringer i fx planternes diversitet, vækst og udbredelse forårsage ændringer i kulstofomsætningen som i sidste ende vil bestemme om de arktiske tundraer i det lange løb via ned-



(Gengivet med tilladelse fra Academic Press)

brydning af organisk stof netto vil bidrage med kuldioxid (CO<sub>2</sub>) til atmosfæren, eller om de netto vil optage kuldioxid fra atmosfæren og omsætte det til organisk stof. Dette vil i sig selv kunne påvirke selve drivhuseffekten og dermed klimaet. Ligeledes vil ændringer i sneens udbredelse og afsmeltning kunne påvirke de arktiske områders strålingsbalance, fordi en snedækket

overflade reflekterer meget mere sollys end en snefri overflade. Dette vil samlet kunne føre til en ændret energibalance som igen vil kunne påvirke klimaet. Der er i de arktiske områder observeret en lang række tilsvarende processer som ved klimaændring vil påvirke det klima som udløste processen. Der er tale om såkaldt feedback fra økosystem til klima (pile II og III).

BOKS 1: ZACKENBERG BASICS FAGLIGE KONCEPT

ynglesucces (*fig. 1*) afhænger af hvor mange lemminger der er til stede det enkelte år. For at få det fuldstændige billede af hvorledes ændringer i klimaet vil påvirke enkelte arter og – ikke mindst – deres miljø, bliver man derfor nødt til også at vide, hvordan klimaet påvirker resten af økosystemet. At betragte et helt økosystem med alle dets fysiske og biologiske dele er ker-

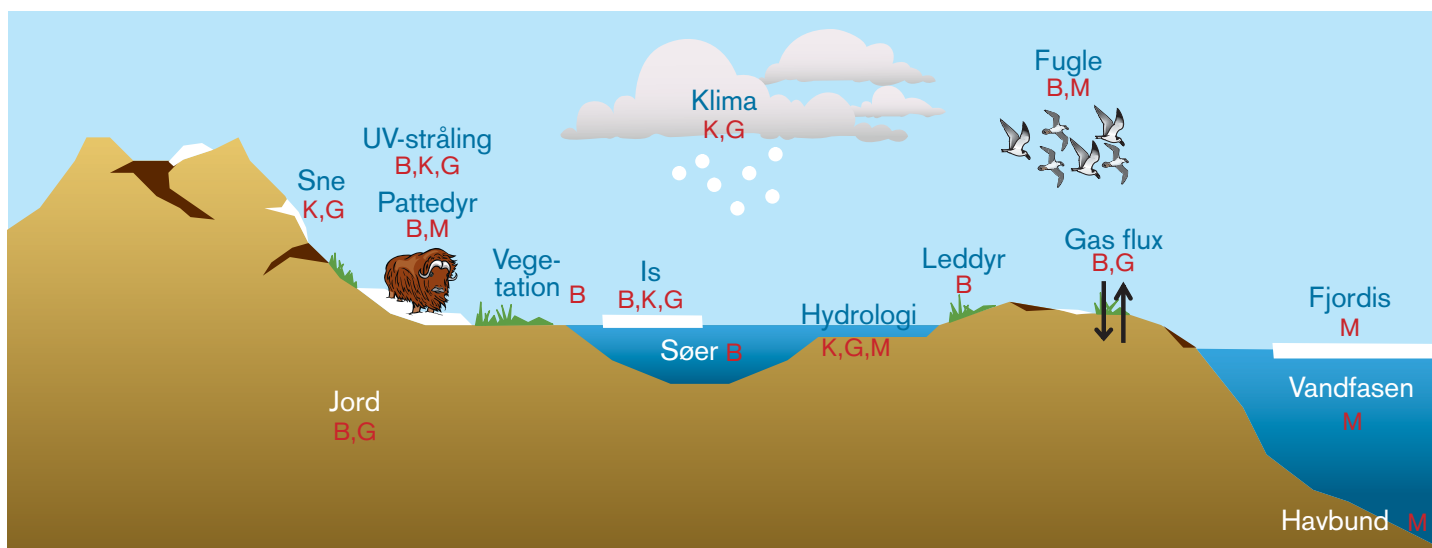
nen i det tværfaglige monitoringsprogram *Zackenberg Basic* (*boks 1*).

ET HELT ØKOSystem STUDERES

Lad det være slået fast med det samme. *Zackenberg Basic* har sammen med sit nystartede vestgrønlandske søsterprogram, *Nuuk Basic*, markeret sig internationalt pga. sin omfattende

tværfaglige monitoring inden for et enkelt økosystem. Ikke alene undersøger *Zackenberg Basic* hvorledes et højarktisk økosystems opbygning og funktion ændres af klimasvingninger, men også hvordan sådanne ændringer igen vil påvirke klimaet via fx ændringer i overfladens refleksion af Solens lys (albedo) samt frigørelsen af kulstof (*boks 1*).





2. Skematisk præsentation af de vigtigste faglige områder der monitoreres af Zackenberg Basic. Store bogstaver angiver hvilket af de fire store basisprogrammer som foretager monitoreringen. K=KlimaBasis, G=GeoBasis, B=BioBasis og M=MarinBasis. (Gengivet med tilladelse fra Academic Press)

Zackenberg Basic er altså en holistisk måde at studere klimaeffekter på. Den bryder med tidligere studiers tradition for kun samtidig at undersøge en mindre del af økosystemet. Sammenlagt dækker monitoreringen i Zackenberg Basic 14 videnskabelige områder der omfatter klimatiske og fysiske såvel som biologiske faktorer inden for det samme økosystem. Alle disse faktorer monitoreres kontinuerligt gennem hele forårs- og sommersæsonen, år efter år.

Zackenberg Basic består af fire basisprogrammer der hver især har fokus på forskellige dele af økosystemet ved Zackenberg. Tilsammen monitorer disse programmer over 1.500 parametre hvert år. Parametrene kan samles i en række overordnede faglige områder fordelt på økosystemets fysiske og biologiske dele (fig. 2).

De fysiske områder omfatter sne, jord, is, havis, søer, hydrologi, oceanografi og ultraviolet (UV) stråling, mens

de biologiske områder omfatter fauna og stofomsætning i jord, vegetation, effekter af UV-stråling, udveksling af gasser mellem økosystemet og atmosfæren, flora og fauna i søer, leddyr, fugle og pattedyr. Da Zackenberg Basic monitorer gennem hele vækstsæsonen og år efter år, vil ændringer i alle disse parametre vise hvordan økosystemet reagerer inden for den enkelte sæson og samtidig vise de længerevarende klimarelaterede ændringer der sker over flere år.

En samlet vurdering af de hidtidige effekter af klimaet, med anbefalinger for den fremtidige klimaforskning i Arktis, blev for nyligt fremlagt i Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). Disse anbefalinger er en ledetråd i Zackenberg Basic med særlig fokus på langtidsobservationer af kryosfære, hydrologi, arktisk tundra, ferske- og marine systemer samt UV-stråling og gasudveksling. ACIAs anbefalinger er formuleret meget generelt og er først og fremmest rela-

terede til et ønske om en fagligt og geografisk mere omfattende arktisk klimaforskning og klimaeffekt-forskning. På det område kan Zackenberg Basic bidrage med monitorering af klimaændringernes effekt.

KOMPLEKSE KLIMAEFFEKTER:  
ET KIG PÅ TVÆRS AF ARTER

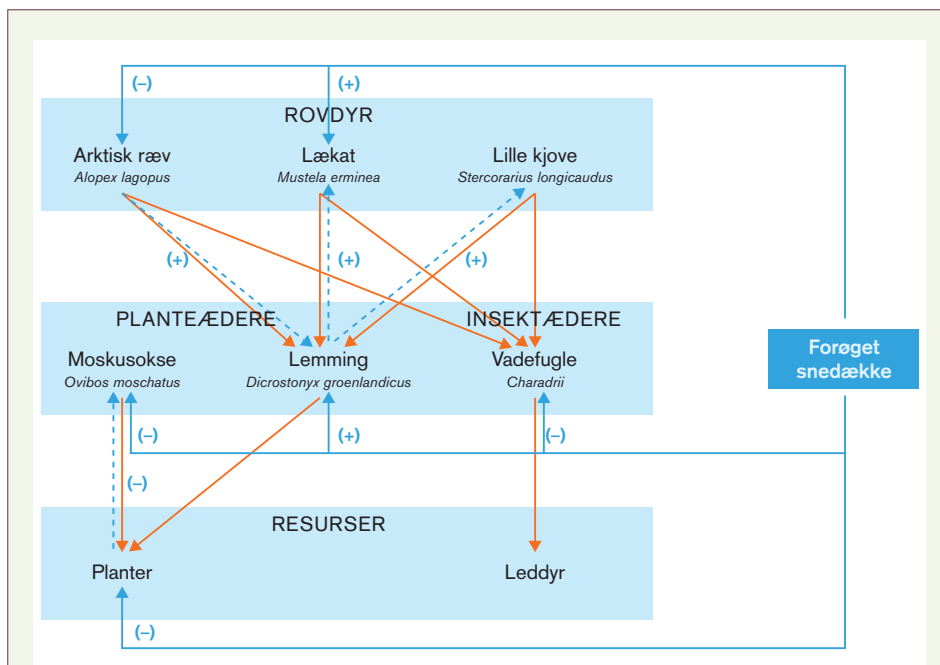
I sammenligning med tempererede og tropiske økosystemer kan det højarktiske økosystem med rette betegnes som simpelt, alene af den grund at systemet indeholder langt færre arter end tilsvarende økosystemer længere sydpå. Dette er en fordel, når man ønsker at beskrive hvorledes hele økosystemet reagerer på klimaændringer. Det højarktiske økosystem ved Zackenberg er simpelthen nemmere at overskue.

Dette til trods, så er kortlægningen af effekter af klimaændringer i øko-



systemet ved Zackenberg ikke en simpel opgave. Kigger man nærmere på det terrestriske system der omfatter polarræv, lækat, lille kjove, moskusokse, lemming (fig. 3), vadefugle, planter og insekter, ser man hvordan klimaet ad flere veje påvirker de enkelte arter (boks 2). Resultaterne fra over ti års dataindsamling understreger at effekterne af klimaet på de enkelte arter er både af direkte og indirekte karakter. Den direkte effekt af klimaet er den letteste at observere. Eksempelvis vil moskusokser under snerige vintre have dårligere adgang til deres planteføde hvilket kan medføre en øget dødelighed og/eller lavere fødselsrate hos moskusokserne. Snerige vintre har imidlertid også en indirekte negativ effekt på moskusokserne, idet vintre med megen sne vil forkorte planternes vækstsæson, og dermed give moskusokserne en kortere sæson hvor de har adgang til føde af høj kvalitet (boks 2).

Forekomsten af de indirekte klimaeffekter dokumenteret ved monitoringen af økosystemet ved Zackenberg, kan oftest kun beskrives hvis alle centrale arter monitoreres samtidig. Havde man fx kun overvåget moskusokserne, ville det være svært at afgøre om den negative effekt af øget snedække på bestanden er en direkte effekt af klimaet, eller om det er en indirekte effekt som følge af ændringer i vegetationen – og dermed om vekselvirkningen mellem moskusokser og vegetationen funktionelt vil ændres som følge af ændringer i klimaet. Med *Zackenberg Basic* er det altså muligt ikke kun at forudsige klimaets indflydelse på de enkelte arter, men også om hele økosystemet vil ændres i struktur og funktion.



(gengivet med tilladelse fra Academic Press)

Et økosystem kan opdeles i trofiske fødekæder hvor man grupperer organismerne funktionelt efter hvilken føde de æder. Som vist æder rovdirene – polarræv, lækat og lille kjove – alle lemming og vadefugle-æg og -unger, mens moskusokse og lemming som er planteædere, æder vegetationen. Vadefuglene er insektædere. Der er således en indbyrdes påvirkning imellem fødekædens forskellige niveauer og dermed

mulighed for at klimaet ikke kun påvirker de enkelte arter direkte, men også indirekte gennem vekselvirkninger på kryds og tværs af økosystemet. Figuren viser de samme fødekædeniveauer, og hvordan de enkelte arter i økosystemet ved Zackenberg reagerer direkte (fuldt optrukken pil) og indirekte (stiplet pil) på et øget snedække. Som det ses forekommer der både negative og positive effekter af mere sne.

BOKS 2: ET KIG PÅ TVÆRST AF ARTER

ARTERS REAKTIONER PÅ KLIMAÆNDRINGER ER MEGET FORSKELLIGE

Resultaterne af de 13 år der er monitoreret ved Zackenberg, viser at lufttemperaturen omkring snesmeltningstids-

punktet var markant højere i årene 2002-2005, i 2007 nåedes en hidtidig varmerekord på 3,3 °C i juni. Således steg den gennemsnitlige temperatur i juni med 0,08 °C pr. år i denne periode, mens julitemperaturen i samme periode steg med 0,19 °C pr. år. Selv







3. Halsbåndlemmingen der lever i højarktisk Grønland, er en såkaldt nøgleart i den terrestriske del af økosystemet ved Zackenberg. De fleste rovdyr er afhængige af dens tilstedeværelse, men fx vadefuglenes ynglesucces kan også være indirekte påvirket, idet tilstedeværelsen af mange lemminger kan mindske rovdyrenes afhængighed af fx vadefuglenes æg, hvilket naturligvis vil være gavnligt for vadefuglebestanden. (E. Thomsen)

om temperaturene i 2006 var mere "normale", så er der tale om store stigninger. Det store spørgsmål er selvfølgelig om organismerne i et højarktisk økosystem evnede at tilpasse sig en så voldsom ændring på så kort tid.

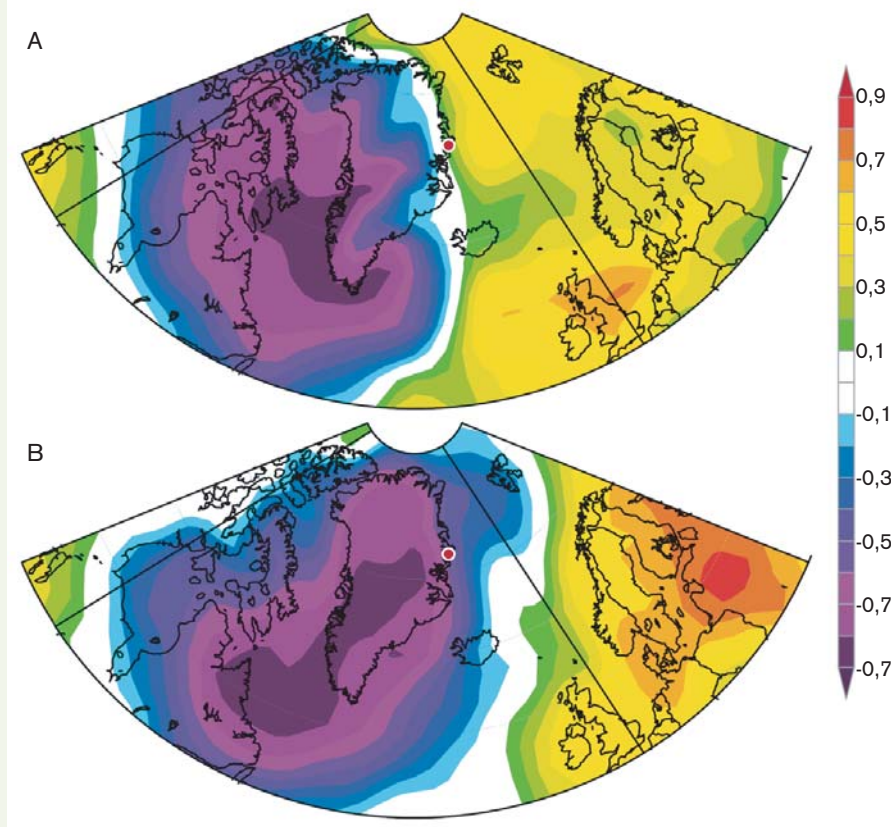
Ganske overraskende viser resultaterne fra *Zackenberg Basic* at dette var tilfældet. Af en større analyse af de gennemsnitlige tidspunkter for planters blomstring, insekters fremkomst og vadefuglenes æglægning fremgår det at disse "mærkedage" i årene 2002-05 indtraf to uger tidligere end ved begyndelsen af vores monitoring. Dette gennemsnit dækker dog over en meget stor variation, selv inden for den samme

art. Afhængigt af hvor man kigger i Zackenbergdalen, kan man finde steder hvor fx arktisk pil (*fig. 4*) blomstrede mere end tre uger tidligere end for ti år siden, mens den andre steder slet ikke ændrede blomstringstidspunkt. Dette hænger sammen med at snedybden varierer meget i Zackenbergdalen, og dermed sker afsmeltningen på forskellige tidspunkter. Så ved økosystemmonitoring er det også vigtigt at dække den såkaldte rumlige (lokale) variation inden for økosystemet.

Den imponerende plasticitet, dvs. evne til at tilpasse sig ændrede miljøforhold, som nogle arter udviser, fører til nye spørgsmål. Hvis ikke alle arter

har samme plasticitet, vil det så påvirke økosystemet funktionelt? Vil fx vadefugle der overvintrer langt sydpå kunne tilpasse deres ankomsttidspunkt til ændringer i tidspunktet for sneafsmeltning og dermed til fremkomsten af insekter? Indtil videre har den tidligere fremkomst af insekter i visse år været en fordel for vadefuglene. Men vil fremtidige klimaændringer forårsage så store ændringer at ikke alle arter kan følge med, og vil dette medføre at selve økosystemets struktur og artsammensætning ændres? I skrivende stund er forskere tilknyttet *Zackenberg Basic* netop i gang med at undersøge disse spørgsmål.





Sammenhæng (korrelation) mellem NAO og vinternedbør i arktis. Farven illustrerer om der er en positiv (grøn til rød) eller negativ (blå til violet) sammenhæng vist på søjlen til højre. (Gengivet med tilladelse fra Academic Press)

Den Nordatlantiske Oscillation (NAO) svinger fra år til år mellem en høj og en lav fase. NAO udtrykkes som den mere kendte, men ganske beslægtede El Niño i Stillehavet, ved udregning af trykforskelle ved

havoverfladen. Mere præcist er NAO-indekset beregnet som afvigelsen i trykforskellen ved havoverfladen mellem Azøerne og Island. Er denne stor, er NAO i den høje fase. Omvendt, er forskellen lille, er

NAO i den lave fase. Høj fase er ensbetydende med varme, fugtige vintre i Nordeuropa/Rusland og kolde vintre i Vestgrønland/Canada. I den lave fase er det omvendt. Herhjemme mærkes effekten af NAO, idet de seneste årtiers varme (og nok lidt kedligt grå) vintre skyldes at NAO har befundet sig i den høje fase.

Det er lidt anderledes for Zackenberg. Som man kan se på figuren ligger Zackenberg (rød prik) klimamæssigt i en zone mellem øst og vest. A viser sammenhængen mellem vinternedbør og NAO i år hvor NAO befinder sig i den lave fase. I sådanne perioder er der i Zackenberg samme sammenhæng mellem NAO og vinternedbør (positiv) som i Nordeuropa. I længere perioder med NAO i den høje fase er sammenhængen negativ i Zackenberg, og altså modsat sammenhængen i Nordeuropa (B). Man kan altså konkludere at i perioder med NAO i den lave fase, udvikler klimaet i Zackenberg sig som i den østlige del af Arktis, mens klimaet i Zackenberg i perioder med NAO i høj fase udvikler sig som i den vestlige del af Arktis.

### BOKS 3: DEN NORDATLANTISKE OSCILLATION

#### ZACKENBERG I EN CIRKUMPOLAR SAMMENHÆNG

Økosystemet ved Zackenberg er kun et af de mange som findes i Arktis.

For at forstå ændringer i klimaet og de efterfølgende effekter på økosystemerne bliver man nødt til at undersøge hvorledes ændringer i de store atmosfære-hav-systemer som dækker

hele Arktis, påvirker de fysiske og biologiske dele af økosystemet ved fx Zackenberg.

På de nordlige breddegrader har ændringer i den Nordatlantiske







B



4. A: arktisk pil på tundraen ved Zackenberg. B: farvet tværsnit af en gren fra arktisk pil. Afstanden mellem to på hinanden følgende mørke ringe viser pilens tilvækst over ét år. Årstilvæksten varierer meget fra år til år. En tælling af årringene viser at dette individ er 22 år gammelt. Der er dog arktiske pile i Zackenberg som er over 90 år gamle! (T.B. Berg, Aurora Foto)

Oscillation (NAO) store følger for hele det arktiske område (boks 3). Zackenbergs geografiske placering på den nordøstgrønlandske kyst er midt mellem det typiske vinterklima i Nordeuropa/Rusland og Vestgrønland/Canada. Og når NAO svinger mellem dets lave og høje faser, så svinger vinterklimaet i Zackenberg mellem et klima som er karakteristisk for henholdsvis det østlige og det vestlige Arktis (boks 3).

Studerer man forholdet mellem NAO og de forskellige arter ved Zackenberg, så ser man også NAOs svingende påvirkning på flere forskel-

lige arters biologi. For eksempel foregik årstilvæksten i pilebuske ved Zackenberg i perioden fra midten af 1960'erne til midten af 1980'erne (fig. 4) synkront med tilvæksten i pilebuske i Nordnorge tusinde af kilometer væk. NAO var i den lave fase i denne periode, og ændringer i vinternedbør foregik synkront i de to regioner (boks 3). I en senere periode hvor NAO var i en høj fase, var der ingen sammenhæng mellem årstilvæksten af pilebuske i Zackenberg og Nordnorge.

Denne svingen i vinterklimaforhold komplicerer analyserne af kli-

maets indflydelse på økosystemet bl.a. fordi der ikke er en lineær sammenhæng mellem påvirkning (klimaet) og respons (effekten på økosystemet). I nogle perioder viser de store klimasystemer en positiv sammenhæng med snemængden ved Zackenberg, mens sammenhængen i andre perioder er negativ. For forskerne som er tilknyttet *Zackenberg Basic*, er det en stor fremtidig udfordring at analysere disse meget komplicerede klimaeffekter. Resultaterne kan dog åbne for en ny forståelse af hvorledes ændringer i klima og økosystemer hænger sammen.

#### YDERLIGERE OPLYSNINGER

*Forchhammer, M.C., 2001: Terrestrial Ecological Responses to Climate Change in the Northern Hemisphere. I: Jørgensen, A.M.K., J. Fenger & K. Halsnæs: Climate Change Research. Danish Contributions – Danish Climate Centre, Danish Meteorological Institute. s. 219-236.*

*Høye, T.T., m.fl., 2007: Rapid advancement of spring in the High Arctic. Current Biology 17: 449-451.*

*Meltofte, H., m.fl. (red.), 2008: High-Arctic Ecosystem Dynamics in Changing Climate. Ten years of monitoring and research at Zackenberg Research Station, Northeast Greenland. Advances in Ecological Research 59, Academic Press.*

*Meltofte, H. (red.), 2002: Sne, is og 35 graders kulde. Hvad er effekterne af klimaændringer i Nordøstgrønland? TEMA-rapport fra DMU 41, 90 sider.*

*Petersen, H., m.fl. 2001: The Arctic. I: Jørgensen, A.M.K., J. Fenger & K. Halsnæs: Climate Change Research. Danish Contributions. – Danish Climate Centre, Danish Meteorological Institute. s. 303-330.*

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

