Nordisk Natur-forvaltning i et ændret Klima



norden
Nordisk Ministerråd

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Nordisk Natur-forvaltning i et ændret Klima





Nordisk Naturforvaltning i et ændret Klima

ANP: 2005:571

norden
Nordisk Ministerråd

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Nordisk Naturforvaltning i et ændret Klima

TemaNord 2005:571

©Nordisk Ministerråd, København 2005
ISBN 92-893-1219-X
Tryk: Arco Grafisk A/S
Omslag: Britta Munter
Layout: Britta Munter
Omslagsfoto: Maria Mikkelsen
Oplag: 700
Trykt på miljøvenligt papir som opfylder kravene i den nordiske miljøsvanemærkeordning
Publikationen kan bestilles på www.norden.org/order
Flere publikationer på www.norden.org/publikationer

Trykt i Danmark

Nordisk Ministerråd
Store Strandstræde 18
1255 København K
Telefon 3396 0200
Fax 3396 0202

Nordisk Råd
Store Strandstræde 18
1255 København K
Telefon 3396 0400
Fax 3311 1870

www.norden.org
www.dmu.dk

Det nordiske miljøsamarbejde
Det nordiske miljøhandlingsprogram 2005-2008 danner rammen om de nordiske landes miljøsamarbejde såvel inden for Norden som i forhold til nærområderne, Arktis, EU og øvrige internationale fora. Programmet lægger op til resultater, som sikrer Nordens position som foregangsregion på miljøområdet. En overordnet målsætning er blandt andet at skabe et sundere levemiljø for Nordens befolkning.

Det nordiske samarbejde
Det nordiske samarbejde er et af de ældste og mest omfattende regionale samarbejder i verden. Det omfatter Danmark, Finland, Island, Norge og Sverige samt Færøerne, Grønland og Åland. Samarbejdet styrker samhørigheden mellem de nordiske lande med respekt for de nationale forskelle og ligheder. Det øger mulighederne for at hævde Nordens interesser i omverdenen og fremme det gode naboskab.

Samarbejdet blev formaliseret i 1952 med *Nordisk Råds* oprettelse som forum for parlamentarikerne og regeringerne i de nordiske lande. I 1962 underskrev de nordiske lande Helsingforsaftalen, som siden har været den grundlæggende ramme for det nordiske samarbejde. I 1971 blev Nordisk Ministerråd oprettet som det formelle forum til at varetage samarbejdet mellem de nordiske regeringer og de politiske ledelser i de selvstyrende områder, Færøerne, Grønland og Åland.

Indhold

Forord 7
Yhteenveto 8
Resumé 9

1. Klimaet og naturen indtil nu 10
Fra begyndelsen til istidens ophør 10
Den sidste istids ophør 10
Polerne smeltede 11
Menneskets stigende indflydelse på naturen 12
Dagens udbredelsesbilleder 12
De seneste 150 år 13
Den forøgede drivhuseffekt 14
Den menneskelige påvirkning af drivhuseffekten 15

2. Klimaeffekter på naturen i Norden – eksempler 16
Vækstsæsonens forlængelse 16
Pollensæsonen er fremrykket 17
Palsamyren smelter 18
Etagemos i fremgang 18
Krybdyr, padder og fugle yngler tidligere 18
Sommerfugle – klimaindikatorer 19
Trækfuglene ændrer adfærd 20
Fremgang for vandstæren 20
Nordens eksotiske stork i fremgang 21
Gæster fra syd eller nye medborgere 21
Polarræven i tilbagegang 22
Ørreder i fjeldområderne 23
Generelle effekter 23

3. Fremtidens klima 24
Fra observationer til fremskrivninger 24
Klimascenarier 26
Stabilisering på længere sigt 26
Overraskelser i drivhuset 27
Regionale forskelle 27
Globale sikkerhedsaspekter 27
Nordens klima i fremtiden 28

4. Fremtidens natur – fra fjeld til hav . . . 30
Fjeldnaturens reaktioner 30
Artsdiversitet 31
Skov, industri og natur 32
Generelle effekter 32
Sygdomme 32
Skovbrande 32
Skovens store græsædere 33
De store rovdyr 34
Terrestriske naturtyper 34
Vandløb – temperaturfølsomme systemer 36
Makrofaunaen 36
Søer 37
Temperaturstigning i en næringsrig sø 37
Uvis fremtid for næringsfattige søer 38
Fiskefauna 38
Kystnære økosystemer 39
Marine økosystemer 39
Springlaget forskydes 39
Marine planter og dyr 40
Konsekvenser for fiskene 40
Østersøen 40

5. Økosystemernes funktioner 42
Økosystemers funktioner og ydelser 42
Biodiversitet og økosystemernes robusthed 43
Menneskeskabte påvirkninger af biodiversitet 44
Overlevelsesmuligheder i fragmenterede landskaber 45

6. Guidelines og anbefalinger 48
Handlemuligheder 49
Tilpasningsstrategier 49
Proaktiv tilpasning 51
Videnoparbejdning og udvikling 51
Udpegning af større levesteder 52
Sikring af spredningskorridorer 52
Artsforvaltning 54
Translokation af arter 54
Introduktion af nye arter 54
Minimering af øvrige stressfaktorer 55
Tilpasning af praksis indenfor relevante erhverv 56
Lovgrundlag og støtteordninger 56
Dæmpende foranstaltninger 57
Støtteordninger 58
Regionalt samarbejde 58
Konklusion 59

Referencer 61





Forord

I Nordisk Ministerråds Miljøhandlingsprogram 2001-2004 peges der på behovet for et udredningsarbejde om de forventede klimaændringers påvirkning af den nordiske natur. I mit arbejde i det daværende Miljø- og Energiministerium havde jeg selv beskæftiget mig med emnet og genkendte behovet. Derfor udarbejdede jeg et projektforslag til Nordisk Ministerråd om klimaeffekter på den nordiske natur med en naturforvaltningsmæssig vinkel. Arbejdsgruppen for natur, friluftsliv og kulturmiljø (NFK) og Arbejdsudvalget (AU) i Nordisk Ministerråd iværksatte på dette grundlag det foreliggende projektarbejde i januar 2004 og en projektgruppe blev nedsat.

Projektgruppen består af 7 deltagere fra naturforvaltende organer i Finland, Norge, Sverige og Danmark:

- Heikki Toivonen, Finlands Miljøcentral
- Else Løbersli, Direktoratet for Naturforvaltning i Norge
- Ulf Grandin, Sveriges Lantbruksuniversitet og Ola Inghe, Naturvårdsverket
- Hans Erik Svart, Skov- og Naturstyrelsen; Jes Fenger, Danmarks Miljøundersøgelser og Maria Mikkelsen, Danmarks Miljøundersøgelser (projektleder).

Projektet tager udgangspunkt i den nordiske natur syd for polarcirklen, men henter også eksempler fra andre regioner. Hér og efterfølgende i rapporten refererer "Norden" og "nordisk" til Finland, Norge, Sverige og Danmark.

Arbejdet er baseret på eksisterende viden, herunder IPCC´s klimafremskrivninger, artikler fra internationale tidsskrifter og nationale forvaltningsrapporter. Rapporten beskriver klimaets og naturens udvikling frem til i dag; den fremlægger eksempler på mulige klimaeffekter, og den ser på, hvordan klimaet og naturen kan tænkes at udvikle sig de næste 100 år. I rapportens afsluttende kapitel fremlægges forslag til, hvordan håndteringen af forventede klimaeffekter kan integreres i natur- og ressourceforvaltning.

Målgruppen for projektet er primært embedsmænd, politikere og forvaltere, herunder jord- og skovbrugere, og andre, der beskæftiger sig med forvaltning og administration af naturen og dens ressourcer.

I projektperioden fra februar 2004 til oktober 2005 er der afholdt 4 projektgruppemøder, et reviewmøde og en afsluttende workshop.

Projektgruppen ønsker at takke Danmarks Miljøundersøgelser, Afdelingen for Atmosfærisk Miljø i Roskilde, som har forvaltet projektet. Vi ønsker desuden at takke Erik Framstad fra NINA i Norge; Johan Sonesson fra Skogforsk og Urban Emanuelsson fra Centrum for Biologisk Mångfald i Sverige; Michael Stoltze fra Danmarks Naturfredningsforening og Linda Dalen fra Direktoratet for Naturforvaltning for kommentarer til og diskussion af projektrapporten og dens tema. Ydermere rettes en tak til Maria Pedersen for hjælp i forbindelse med forberedelse af møder, samt Britta Munter og Helle Thomsen for hjælp til layout og opsætningen af projektets hjemmeside (http://nonaklim.dmu.dk).

Maria Mikkelsen, 18. september 2005



Projektgruppen
Øverst fra venstre: Heikki Toivonen, Jes Fenger, Hans Erik Svart, Ola Inghe, Ulf Grandin og nederst fra venstre Maria Mikkelsen og Else Løbersli.

Yhteenveto

Maapallon ilmasto – eläin- ja kasvikunnan tärkein elämänperusta – on aina vaihdellut luontaisista syistä. 1800 –luvun puolivälistä alkaen ilmasto on tullut asteittain lämpimämmäksi ja useimmat asiantuntijat ovat yhtä mieltä siitä, että ihmistoiminnan aiheuttama kasvihuonekaasujen lisääntyminen on ollut merkittävä syy viime aikoina tapahtuneeseen ilmastonmuutokseen.

Kasvihuoneilmiö ja siitä seuraavat maapallonlaajuiset ilmaston muutokset ovat tämän hetken tärkeimpiä ympäristöongelmia. Kasvihuoneilmiön pääsyy on fossiilisten polttoaineiden poltosta johtuvat hiilidioksidipäästöt (CO_2), mutta myös mm. maataloustuotannossa syntyvä metaani (CH_4) ja ilokaasu (N_2O) ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja.

Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamiseksi ponnistellaan kansainvälisesti. Kaikki laskelmat kuitenkin osoittavat, ettei nykyisten päästöjen huomattavillakaan rajoituksilla voida kokonaan välttää ilmaston muutoksia. Tällä hetkellä näkyvät vaikutukset ovat tähänastisten päästöjen seurausta. Ja myös päinvastoin, tänään tehtävien rajoitustoimen vaikutukset näkyvät viipeellä vasta myöhemmin.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia näkyy jo pohjoismaiden luonnossa. Tässä raportissa ehdotetaan, että luonnonsuojelusta ja luonnonvarojen käytön hallinnasta vastaavat viranomaiset ottavat huomioon työssään ilmastonmuutoksen nykyiset ja tulevat vaikutukset.

Jälkikäteen tapahtuvien (reaktiivisten) korjaustoimien sijaan raportissa suositellaan ennakoivia (proaktiivisia) sopeutumistoimia, jotka ottavat huomioon ilmaston todennäköiset muutokset ja niiden vaikutukset luontoon.

Luonnonsuojelun ja luonnonvarojen käytön hallinnan alueella ennakoiva sopeutumisstrategia kiinnittää erityistä huomiota mm. seuraaviin alueisiin:

- ilmastonmuutokseen ja biodiversiteettiin liittyvä tutkimus- ja kehitystyö
- luonnon käyttö ja hoito
- lupalainsäädäntö ja tukipolitiikka
- alueellinen yhteistyö

Tutkimus- ja kehitystyössä tulee tarkastella tarkemmin muun muassa:

- ilmastonmuutoksen ja muiden luontoon kohdistuvien stressitekijöiden yhteisvaikutuksia sekä luonnon ja ilmaston välisiä vuorovaikutuksia ja palautemekanismeja
- lajien leviämisbiologian ja ekosysteemien toiminnan tuntemus on tarpeen, jotta luonnonsuojelun ja käytön hallinnan avulla voitaisiin turvata eläinten ja kasvien sopeutumismahdollisuudet ilmastonmuutokseen (mm. niiden siirtyessä uusille esiintymisalueille)

Lisääntyvää tietoa tulee käyttää hyväksi luonnonsuojelussa ja luonnonvarojen käytön suunnittelussa ja toimeenpanossa niin, että luonnon kestokyky, palautuminen ja sopeutumiskyky muuttuvaan ilmastoon voidaan turvata. Tietoa tarvitaan päätöksenteossa ja hallinnossa sekä maa- ja metsätaloudessa ja muussa alkutuotannossa.

Tämän lisäksi ilmastonmuutoksen todennäköisiä vaikutuksia tulee pyrkiä vähentämään lupalainsäädäntöä uudistettaessa ja varmistaa, että lupasäännökset sisältävät tarvittavat lupaehdot ja menettelyt, jotta lupien tavoitteet saavutetaan ilmaston muuttuessa.

Monet edelläolevista ennakoivista sopeutumistoimista voidaan toteuttaa alueelliseen yhteistyön avulla. Ilmastonongelmat ylittävät rajat ja eri valtioilla on myös erilaisia vahvuuksia ja heikkouksia ilmastonmuutoksen vaikutusten suhteen. Tämä antaa mahdollisuuksia yhteistyöhön, voimavarojen säästöön ja tehokkaaseen käyttöön.

Kansallisen luonnonsuojelun ja luonnonvarojen hallinnan haasteena on kehittää lainsäädäntöä, suunnitelua ja hallintoa ottamaan huomioon luonnon ja ilmaston muutokset ja niiden epävarmuus. Suositeltujen sopeutumistoimien sisäistäminen ja syvällinen käsittely kansallisessa hallinnossa ja muilla tahoilla on tarpeen ilmastonmuutoksen negatiivisten vaikutusten rajoittamiseksi hyvissä ajoin.

Tässä hankkeessa ei ole selvitetty niitä taloudellisia vaikutuksia, joita seuraa ennakoivan sopeutumistrategian valinnasta jälkikäteisten korjaustoimien sijaan. Voidaan kuitenkin olettaa, että valitun sopeutumisstrategian taloudellisten seurausvaikutusten arviointi on tarpeen taloudellisten voimavarojen optimoimiseksi. Raportissa ei myöskään käsitellä sopeutumisen ja ilmastonmuutoksen syihin vaikuttamisen ensisijaisuutta, koska tätä työtä tehdään monilla muilla tahoilla, esimerkiksi ilmastosopimukseen liittyvässä Kioton pöytäkirjassa.

Resumé

Så længe Jorden har eksisteret har klimaet varieret af naturlige årsager. Siden midten af det 19. århundrede er klimaet blevet gradvist varmere, og de fleste eksperter er nu enige om, at denne klimaforandring delvis er betinget af det antropogene bidrag til drivhusgasserne.

Den stadigt stigende drivhuseffekt, og de deraf følgende globale klimaændringer står højt på listen over tidens miljøproblemer. En af hovedårsagerne til drivhuseffekten er udslip af kuldioxid, CO_2 fra afbrænding af fossile brændstoffer, men også metan, CH_4 og lattergas, N_2O fra landbrugsproduktionen bidrager.

Der gøres internationale anstrengelser for at begrænse udslippet af drivhusgasser, men alle beregninger viser imidlertid, at selv med de mest optimistiske begrænsninger vil klimaændringerne ikke helt kunne undgås. Derfor er det vigtigt, at man udover at søge at begrænse udslippet af drivhusgasser, også udarbejder og integrerer klimatilpasningsstrategier i samfundet, heriblandt på naturområdet. Det foreslås derfor i denne rapport, at natur- og ressourceforvaltningerne inddrager klimaændringens nuværende og mulige kommende effekter på naturen i sit arbejde. Fremfor en reaktiv ad hoc planlægning anbefales det, at der anvendes en proaktiv tilpasning (planned adaptation), som tager højde for hele spektret af udviklingsmuligheder i klimaet og de mulige effekter af dette på naturen.

På natur- og ressourceforvaltningsområdet indebærer en proaktiv tilpasningsstrategi bl.a. en prioritering af områderne:

- Videnoparbejdning og udvikling
- Handlinger
- Lovgrundlag og støtteordninger
- Regionalt samarbejde.

Indenfor området videnoparbejdning og udvikling er der en række områder, som bør belyses yderligere, herunder viden om klimaændringens samspil med øvrige stressfaktorer på naturen, og naturens feedback-mekanismer på klimaet, samt kendskab til spredningsbiologi som en nødvendig forudsætning for sikring af dyr og planters tilpasningsmuligheder gennem migration.

Den indsamlede viden vil være et værktøj til gennemførelse af konkrete handlinger, som kan styrke naturens robusthed, elasticitet og tilpasningsevne til et klima i ændring. Dette vil finde anvendelse indenfor administrationspraksis, konkret naturforvaltning og naturpleje, samt indenfor natur- og ressourceudnyttelse i de primære erhverv.

Ved desuden at inddrage mulige klimaeffekter når lovgrundlag og støtteordninger skal opdateres og revideres, sikres en lovgivning, som indeholder relevante krav og rammer for at sikre målopfyldelse af den givne lovs intention i et ændret klima.

Dertil kommer, at flere af de ovenstående proaktive tilpasningstiltag optimeres ved at blive løst i et regionalt samarbejde. Problemstillingen er grænseoverskridende og landene har også indenfor klimaeffektområdet forskellige styrker og svagheder. Dette indebærer muligheden for et fælles løft, ressourcebesparelse og effektivitet.

Udfordringen for de nationale natur- og ressourceforvaltninger er at lovgive, planlægge og administrere med en usikker fremtid for natur og klima for øje. Men med de anbefalede tilpasningstiltag *in mente* i de nationale forvaltninger og relevante fora er der god mulighed for at begrænse de negative effekter af klimaforandringen for naturen ved at handle i god tid.

Beregning af de økonomiske konsekvenser ved valget af en reaktiv henholdsvis proaktiv tilpasningsstrategi i natur- og ressourceforvaltningerne, ligger udenfor rammerne af dette projekt. Det skal dog nævnes, at det er en nødvendig forudsætning for en prioritering af de økonomiske ressourcer. I rapporten behandles ej heller spørgsmålet om tilpasning kontra årsagsbehandling, idet dette arbejde foregår i mange andre fora, f.eks. Kyoto-protokollen.

1 Klimaet og naturen indtil nu

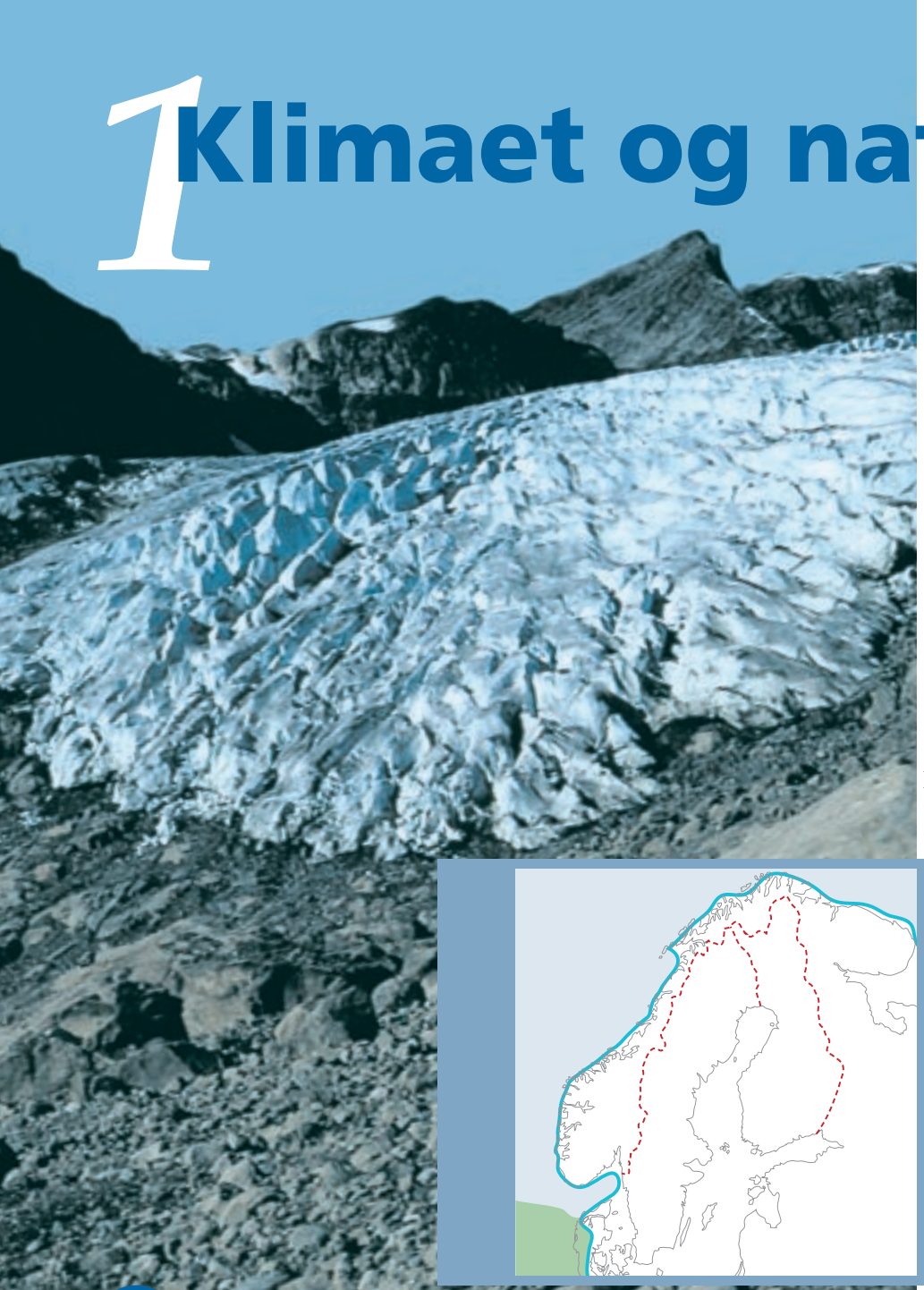


Foto: Poul Johansen

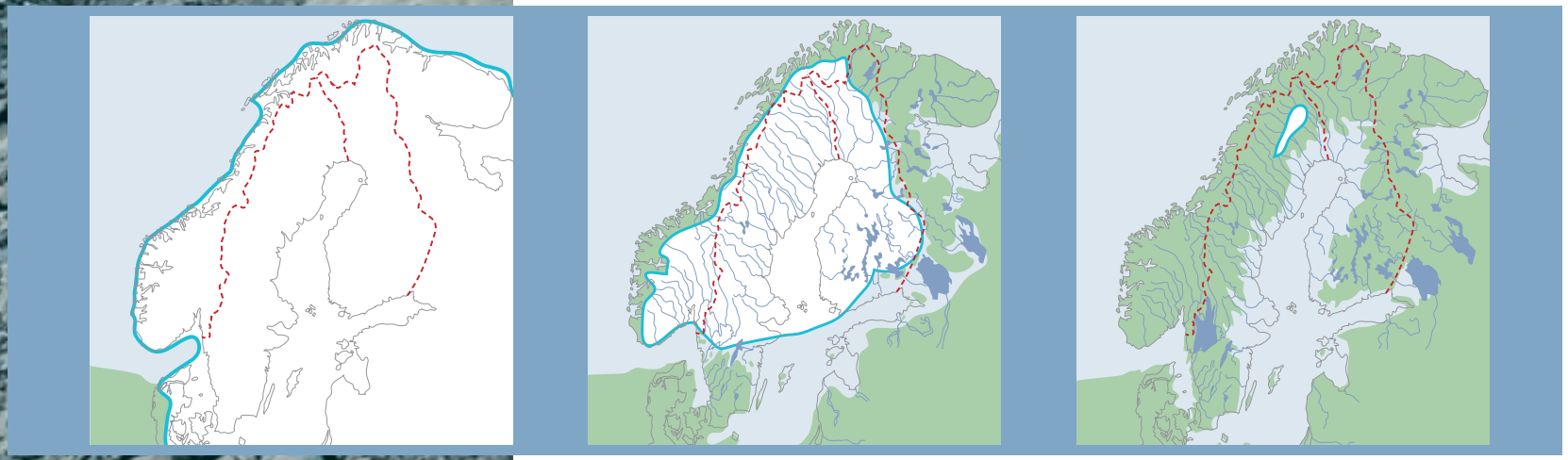
Fra begyndelsen til istidens ophør

Jorden er ca. 5 milliarder år gammel, og ud fra dybhavssedimenter, iskerner, moseaflejringer m.m. har det været muligt delvist at rekonstruere klimaets historie. Det viser sig, at der undervejs har været en række markante klimaskift affødt af kontinentaldrift, vulkanudbrud o.m.a.

For ca. 2 millioner år siden gik Jorden ind i en række istidscykler, som vi stadig befinder os i. Jorden har siden gennemgået mindst 8 istider, der hver har varet omkring 100.000 år. De mellemliggende varmeperioder, kaldet de interglaciale perioder, har varet 10.000 – 20.000 år.

Den sidste istids ophør

For 16.000 år siden begyndte temperaturen langsomt at stige, og dermed begyndte også den foreløbigt sidste istids afslutning (figur 1). På dette tidspunkt var den nuværende Østersøs forgænger, den Baltiske Issø, en ferskvandssø. Af de 7 store pattedyrarter, der er fundet i istidsaflejringer fra de nordiske lande, uddøde de 4 på dette tidspunkt. Mammutten (*Mammuthus primigenius*), det uldhårede næsehorn (*Coelodonta antiquitatis*), steppebisonen (*Bison priscus*) og kæm-



Figur 1
Isens tilbagetrækning efter den sidste istid – udvalgte perioder. (Efter Hultén 1971).

pehjorten (*Megaloceros giganteus*) forsvandt alle med ændringen af det specielle istidsmiljø, mammutsteppen, som ved istidens ophør forandrede sig meget. Dyrenes forsvinden var dog ikke kun betinget af klimaændringen, mennesket spillede allerede på dette tidspunkt en vigtig rolle.

Det landskab isen efterlod var nøgent, lyst og åbent. Jorden var næringsfattig. De første pionerarter blandt planterne, som indvandrede fra syd og øst, var arter med beskedne krav til næringsindholdet i jorden, arter som kunne klare hårde fysiske påvirkninger.

Polerne smeltede

På grund af Jordens opvarmning skete der en kraftig afsmeltning af polarisen. Det betød, at havniveauet meget hurtigt steg op til ca. 120 m over det laveste niveau, det havde været under selve istiden.

Temperaturerne fortsatte med at stige, jorden formuldedes, plantedækket blev tættere, varmen forøgede fordampningen og fladvandede søer og moser groede til. Skoven, som efterhånden opstod, var præget af lys med et bunddække af urter. Kronhjorten (*Cervus elaphus*), vildsvinet (*Sus scrofa*) og formodentlig også rådyret (*Capreolus capreolus*) indvandrede.

Man taler om den postglaciale varmetid, hvor sommertemperaturen var højere end vore dages sommertemperaturer og vintrene var som nu. Iskappen over Norden var smeltet ind til nogle spredte gletsjere i Nordsverige og Nordnorge. Dyre- og plantelivet var mangfoldigt.

Havniveauet steg efterhånden som isen smeltede.



Foto: Ole Malling



Foto: Ole Malling



Foto: Peter Brandt

Mennesket satte tidligt præg på sine omgivelser. Hér helleristning ved Sandvig på Bornholm (l.t.v.).

Kronhjorten indvandrede naturligt i takt med temperaturstigningen efter den sidste istid (t.v.).

Menneskets stigende indflydelse på naturen

Som tiden gik faldt gennemsnitstemperaturen igen med ca. 1 °C. Den postglaciale varmetid var til ende og blev afløst af nedbørsrige kuldeperioder under den såkaldte bronzealder. Naturens udvikling var i stigende grad betinget af menneskelige aktiviteter. I begyndelsen var det jægerkulturen, som var fremherskende med jagt og fiskeri. Langsomt afløstes jægerkulturen af bondekulturen, som bredte sig fra Nærorienten op igennem Europa til Norden. Landbrugets fremmarch havde stor indflydelse på skovene, som dels blev skovet til fordel for landbrug, dels græsset af kvæg, geder og andre husdyr. Menneskets ny leveform betød, at de vilde dyr nu også blev jaget som konkurrenter til tamdyrene og/eller som direkte trusler imod dem.

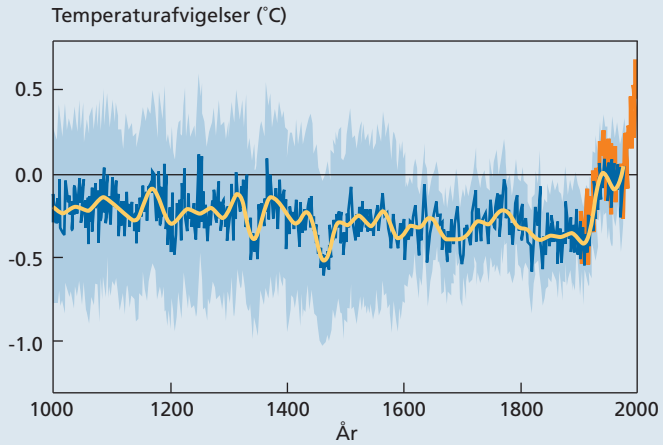
Mange vilde dyr indvandrede fra syd, men også dyr som levede så langt væk, at de ikke naturligt kunne komme til Norden, kom hertil, introduceret af mennesket. Dyr som kaninen (*Oryctolagus ciniculus*), dådyret (*Dama dama*) og fasanen (*Phasianus colchicus*) blev f.eks. introduceret til Norden mellem det 12. og 15. århundrede (Aaris-Sørensen 1988).

I begyndelsen af 1800-tallet skete der globalt en kort, men markant afkøling, der har været sat i forbindelse med store vulkanske aktiviteter – bl.a. udbruddet på Tambora i Indonesien i 1815, der gav "the year without a summer" i USA med frost og sne i juli og august måned (Robock 1994).

Dagens udbredelsesbilleder

Udover klimaet er mennesket bestemmende for flora og faunas udbredelse, både direkte og indirekte. Direkte gennem jagttryk, introduktion af nye arter, forurening mv., men også indirekte via arealudnyttelsen, som er af stor betydning for naturens udbredelsesmønster. Mange dyr og planter i den sydlige del af Norden er knyttet til kulturprægede naturtyper, såsom overdrev, moser og enge, f.eks. dagsommerfuglene græsrandøje (*Maniola jurtina*) og violetran-

Figur 2
Den nordlige halvkugles overfladetemperatur de sidste 1000 år.
(Efter IPPC 2001).
Orange markering: Historiske temperaturmålinger.
Blå markering: Data fra årringe i træer, iskerner og historiske oplysninger.
Gul markering: 50-års gennemsnit.
Lys blå markering: Usikkerhed.



"Udover klimaet er mennesket bestemmende for flora og faunas udbredelse, både direkte og indirekte."


Foto: Peter Brandt


Foto: Ole Andersen

Fasanen blev indført til Norden i løbet af 1500-tallet (t.h.).

Visse planter og dyr er knyttede til kulturprægede naturtyper såsom høslet (l.t.h.).

det ildfugl (*Lycaena hippothoe*) som i Sverige viser en sydlig tilbagetrækning. Analyseres denne tendens nærmere, viser det sig, at sommerfuglene er tæt knyttede til halvkulturtyper som græssede enge og overdrev. Disse naturtyper er gået meget kraftigt tilbage siden slutningen af 1700-tallet, f. eks. bestod ca. 65% af Malmöhus län af enge, hvor de i dag kun udgør en halv procent (Bernes 1994). Dette illustrerer arealanvendelsens store betydning for dyr og planters livsvilkår.

De seneste 150 år

Efter midten af 1800-tallet, sammenfaldende med industrialiseringen har den globale middeltemperatur generelt været stigende. Den er nu omkring 0,6 °C højere end for 150 år siden. Den største stigning har fundet sted gennem de sidste årtier. Samtidig er den samlede nedbørsmængde steget. I hundredåret 1900 – 2000 har der været en stigning i nedbørsmængden på omkring 10% i den sydlige del af Norden og 30% i den nordlige. Dele af Finland har dog været relativt upåvirket (Parry 2000) (figur 3).

Efter midten af 1800-tallet, sammenfaldende med industrialiseringen, har den globale middeltemperatur generelt været stigende.

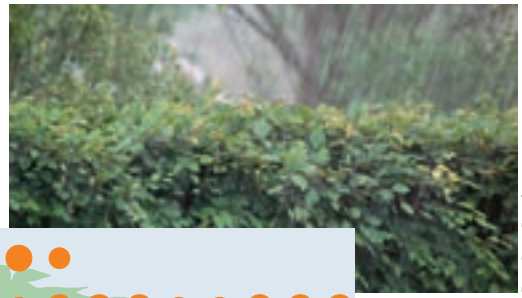


Foto: Peter Brandt

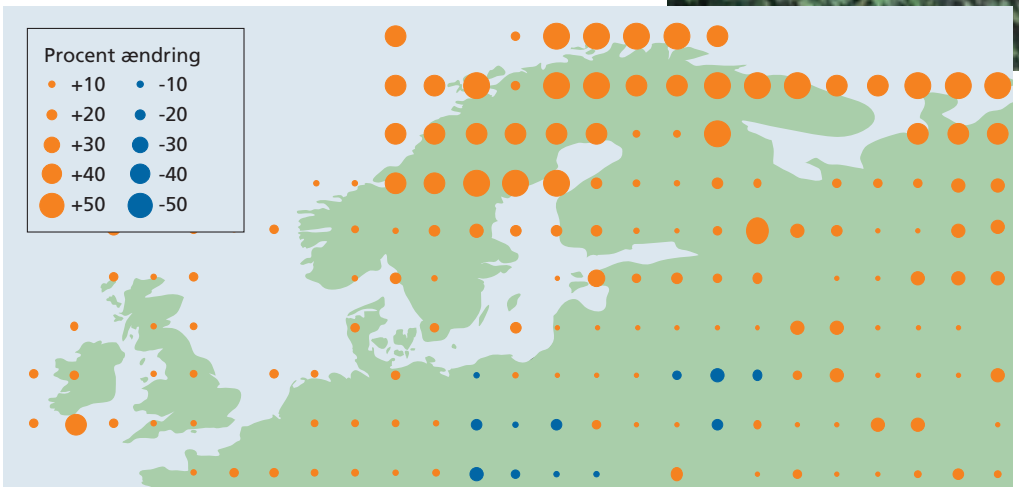




Foto: NASA, Goddard Space Flight Center

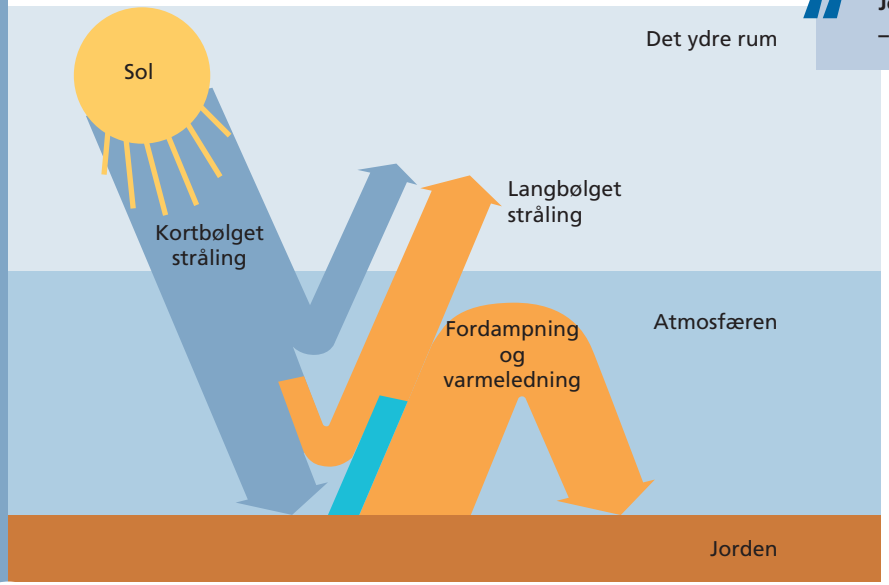
Figur 3
Tendenser i den årlige nedbør udtrykt i procents ændring i det 20. århundrede.
(Efter ACACIA 2001).

Den forøgede drivhuseffekt

Jordens klima har således også før den menneskeskabte påvirkning varieret gennem tiden. Årsagerne er kun delvis forstået, men der er mange mulige forklaringer: f.eks. ændringer i Jordens bane om Solen (Milankowich cykler), kontinentaldrift eller vulkanudbrud. De sidste par hundrede års opvarmning har bl.a. også været forklaret som resultat af ændringer i Solens magnetfelt, afspejlet i mængden af solpletter. Dette påvirker mængden af kosmiske partikler, der når Jorden, og derigennem også skydannelsen og Jordens varmebalance (Lassen & Friis-Christensen 1995).

Afgørende i dette spil er imidlertid den såkaldte drivhuseffekt (figur 4). Drivhuseffekten er et naturligt fænomen, der ved hjælp af molekylære processer i atmosfærens stoffer, bl.a. vanddamp og kuldioxid, medfører, at solstrålingen opvarmer jordoverfladen ca. 33 °C mere, end den ellers ville have gjort, hvis der ikke havde været vanddamp i atmosfæren. Drivhuseffekten er dermed en væsentlig forudsætning for liv på Jorden.

Figur 4
Forenklet fremstilling af drivhuseffekten. Kortbølget sollys går relativt let gennem atmosfæren og opvarmer Jorden. Varmen skal sendes tilbage til verdensrummet, men da Jorden er koldere end Solen, sker det ved længere bølgelængder, hvor atmosfæren er mindre gennemskinnelig. En del af tilbagestrålingen bliver reflekteret tilbage til Jorden, der opvarmes, indtil der er strålingsbalance.



Jordens klima har altid varieret – også før menneskets påvirkning.



Foto: Highlight



Foto: Ole Malling

Drivhusgassen metan kommer bl.a. fra kvæg.

Den menneskelige påvirkning af drivhuseffekten

Tre parametre har historisk set været afgørende for menneskets påvirkning af miljøet: Vores materielle levestandard; den teknologi vi bruger; og antallet af mennesker, der skal have den til rådighed. Indtil år 1800 steg verdens befolkning kun langsomt til ca. 1 mia., men derefter begyndte det at gå hurtigt. I dag er vi omkring 6 mia. mennesker på Jorden.

Det globale energiforbrug er med den stigende levestandard vokset endnu hurtigere – specielt efter 2. Verdenskrig. Energien er hidtil altovervejende blevet fremstillet ved afbrænding af fossile brændstoffer, som kul, olie og gas. Derfor er udslippet af drivhusgassen, kuldioxid (CO_2), der er det væsentligste slutprodukt ved forbrænding, vokset tilsvarende (figur 5).

Samtidig med den stigende udslip af CO_2 har væksten i den globale landbrugsproduktion givet et voksende udslip af drivhusgasserne, metan (CH_4) og lattergas (N_2O). Koncentrationerne i atmosfæren af stofferne CO_2, CH_4 og N_2O er i løbet af de sidste par hundrede år steget med henholdsvis 31%, 250% og 17%, uden tegn på stabilisering (IPCC 2001).

Problemet er, at denne stigning også ses i udslippet af forskellige andre drivhusgasser, og at de tilsammen forstærker drivhuseffekten og herigennem Jordens og atmosfærens varmebalance. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), et internationalt klimapanel, har med modelberegninger vist, at de sidste årtiers opvarmning med stor sandsynlighed må tilskrives denne stigning i drivhusgasser i atmosfæren. Tegn herpå er allerede set.



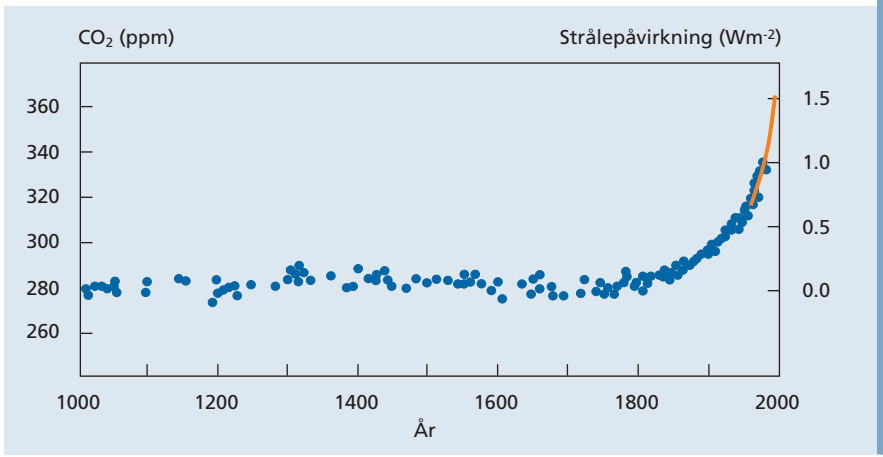
Foto: Highlight

3,8 tons CO_2 pr. indbygger pr. år slipper ud i atmosfæren (World Bank Atlas 2003).



Foto: 2. maj/Sonja Iskov

I 1997 var der mere end 600.000.000 biler i verden. Det svarer til 1 bil pr. hver 10. indbygger. (Efter http://hypertextbook.com/)



Figur 5
Koncentration af CO_2 i atmosfæren de sidste 1000 år. (Efter IPPC 2001).

2 Klimaeffekter på naturen i Norden



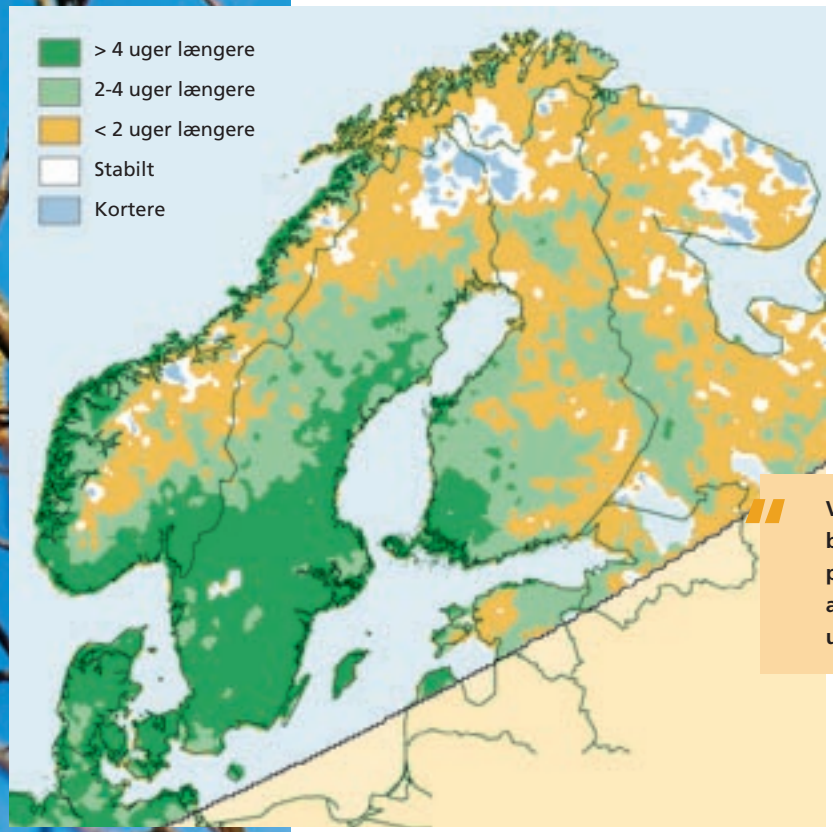
Foto: Maria Mikkelsen

Klimaet betinger naturens form og funktion. Hvilken indflydelse har så de sidste årtiers klimaændringer i form af henholdsvis stigende temperaturer, varmerekorder, milde vintre, ændret nedbørsmønster med kraftige regnskyl og tørkeperioder haft på naturen?

I det følgende giver vi nogle eksempler fra Norden på forandringer i naturen, som kan skyldes denne klimaændring. Det er ikke givet, at det udelukkende drejer sig om klimaeffekter, men vi ser ændringer i naturen nu, som ikke umiddelbart kan forklares, hvor klimaændringen kan spille en rolle.

Vækstsæsonens forlængelse

Et eksempel på en mulig klimaændringseffekt ses ved målinger af vækstsæsonens begyndelse og afslutning. Vækstsæsonen følges vha. af satellitmålinger, som registrerer ændringer i vegetationsindekset NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Dette indeks angiver vegetationens mængde og tæthed og siger noget om vegetationens fotosynteseaktivitet. Ud fra disse målinger ses det, at vækstsæsonen generelt er



"Vækstsæsonens længde og forårets begyndelse har stor betydning for primærproduktionen, planternes artssammensætning og arternes udbredelse."

Figur 6
Ændringer i vækstsæsonens længde i løbet af perioden 1982 til 1999.
(Efter Norut, http://www.itek.norut.no/).

– eksempler

forlænget med mere end 4 uger i perioden fra 1982 til 1999 i det meste af Danmark, Sydsverige, langs den norske kyst syd for Lofoten i Nordnorge og i det sydvestlige Finland (Høgda & al. 2001)(figur 6). I nogle af fjeldområderne starter foråret derimod senere, og vækstsæsonen er hér forkortet. Dette kan skyldes de mildere vintre, som på disse breddegrader ofte medfører mere sne og dermed snedække i en længere periode. Vækstsæsonens længde og forårets begyndelse har stor betydning for primærproduktionen, planternes artssammensætning og arternes udbredelse.

Pollensæsonen er fremrykket

En anden sandsynlig klimaeffekt er ændringer i pollensæsonens længde og periode. Planters hanlige forplantningsprodukt er pollen. Planternes blomstringstidspunkt og frigivelse af pollen varierer fra art til art og styres primært af temperaturen. Den tidligst blomstrende art af de vindbestøvede planter, haslen (*Corylus avellana*), blomstrer allerede i februar i Norden, og en af de seneste arter, bynke (*Artemisia vulgaris*), blomstrer først i august/september. Der er således pollen fra de vindbestøvede planter i luften halvdelen af året samtidig med, at mængden af pollen er stigende (figur 7).

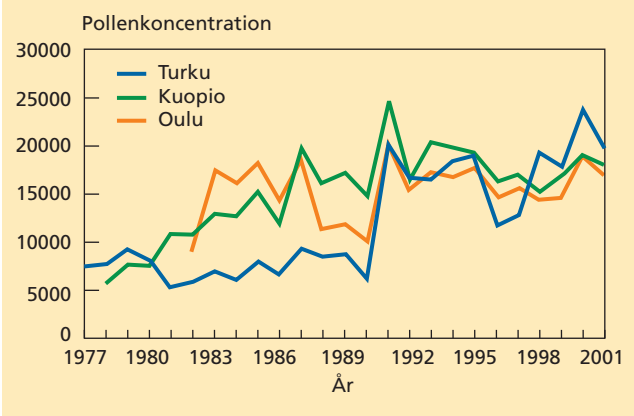
På grund af den udbredte pollenallergi i befolkningerne bl.a. i de nordiske lande er pollensæsonen gennem de sidste 20-30 år blevet overvåget i Danmark, Sverige, Norge og Finland. Overvågningerne viser, at pollensæsonen starter tidligere og tidligere (figur 8). Siden 1978 er pollensæsonen fremrykket med næsten 3 uger. Det forhold, at planterne ændrer blomstringstidspunkt betinget af klimaet, er et fænologisk fænomen (se boks). Fænologi er brugbar som metode til at identificere og følge klimaeffekter (Walther & al. 2002).



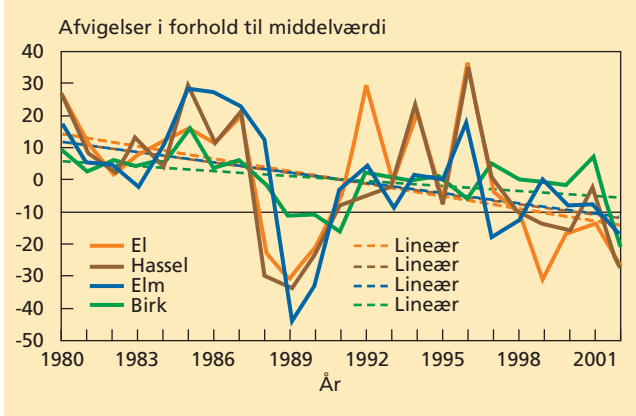
Foto: Highlight

Fænologi

Fænologi er den del af naturvidenskaben, som beskriver forholdet mellem tilbagevendende biologiske begivenheder og klimaet. Således er fænologi studiet af naturen og organismernes reaktion på årstidsvariation og klimatiske ændringer i det miljø, de lever i. At registrere og sammenligne datoer for forskellige begivenheder i naturen, såsom trækfuglenes afgangs- og ankomsttidspunkt, planternes blomstringstidspunkt, vinterdvalens ophørstidspunkt for padder osv. er grundlaget for fænologi.



Figur 7
Den stigende mængde pollen i luften fra 1977-2002 i tre finske byer. (Efter Aerobiology Unit, University of Turku).



Figur 8
Pollensæsonen starter tidligere og tidligere. (Carsten Ambelas Skjøth. På basis af pollendata fra Astma-Allergi Forbundet og DMI (2005)).



Foto: Maria Mikkelsen

Etagemos.

Palsamyren smelter

Også hos naturtypen palsamyren ses en mulig klimabetinget forandring. Palsamyren er en mosetype med permanent frosne knolde (palsa), som findes på den nordlige halvkugle. Til en palsamyr – med sin mosaik af diverse forskellige levesteder for planter og dyr – knytter der sig et for et moseområde usædvanligt rigt fugleliv (Luoto & al. 2004). De sidste 150 års temperaturstigning på 0.6 °C har haft en tydelig effekt på palsamyrene. Bortsmeltningen af palsaen er større end genopbygningen. I Laivadalen, Sverige er f.eks. halvdelen af palsamyrene forsvundet (Zuidhoff, 2002), i Finland er det en tredjedel og i Norge er store områder med palsamyr ligeledes helt forsvundet (Hofgaard 2003).

En af forudsætningerne for opbygningen af en palsamyr er tilstedeværelsen af et tilstrækkeligt tykt tørvelag, som kan opretholde en isoleret tyk frossen kerne. Dette er med til at gøre denne naturtype yderst klimafølsom (Zuidhoff 2003). Palsamyren er udpeget som en prioriteret naturtype på EF-habitatdirektivets lister.

Etagemos i fremgang

Udbredelsen af etagemos (*Hylocomium splendens*) er i Norge ligeledes sat i forbindelse med klimaets ændring. I forbindelse med norsk naturovervågning har man konstateret en markant fremgang af etagemos i to områder i det sydlige Norge fra 1989 til 2003. Forskerne tilskriver de fugtige og milde vintre i overvågningsperioden hovedårsagen til dette (Hofgaard 2004). I Sverige viser analyser af data fra svenske "Ståndorts-karteringen", at dækningsgraden for etagemos er stigende mellem 1994 og 2001, undtagen for det sydligste Sverige (Grandin 2005, upubl.). I Finland derimod er etagemos gået tilbage, hvilket hér primært tolkes som et resultat af den moderne skovdrift.

Krybdyr, padder og fugle yngler tidligere

Andre eksempler på mulige klimaeffekter fremkommer ved at se på arternes biologi. En norsk/dansk undersøgelse viser, at en lang række krybdyr, padder og fugle yngler tidligere og tidligere, i et mønster der tæt følger den Nordatlantiske Oscillation, NAO (se boks og figur 9). Dette er en tendens, som har holdt sig igennem de sidste 20-30 år (Forchammer & al. 1998). Mønsteret understreger klimaets betydning for arternes biologi, og antyder dermed en fremtid, hvor klimaets usikre og nonlineære udvikling kan påvirke naturen betydeligt.

> **En lang række krybdyr, padder og fugle yngler tidligere og tidligere.**



Foto: Peter Brandt

Brun frø (*Rana* sp.) (t.h.) og sommerfuglen dagpåfugleøje (l.t.h.)

Sommerfugle – klimaindikatorer

Også sommerfuglene ændrer udbredelsesområde (Ryrholm 2003). Ligesom fugle er sommerfugle og andre flyvende organismer i stand til at reagere hurtigt på bl.a. temperaturændringer ved at flytte sig og ændre udbredelse. En europæisk undersøgelse viser, at 63% ud af 35 sommerfuglearter har rykket deres udbredelsesgrænse mellem 35-240 km mod nord gennem det sidste århundrede. Kun 3% af arterne er rykket mod syd (Parmesan & al. 1999). En af de arter, som ovenstående undersøgelse omtaler, er den almindeligt forekommende dagsommerfugl, dagpåfugleøje, (*Inachis io)*. I begyndelsen af sidste århundrede var dagpåfugleøje i Sverige udbredt op til Stockholmsområdet. I løbet af det 20. århundrede ændredes sommerfuglens nordlige udbredelsesgrænse i takt med temperatursvingningerne. I løbet af en 10-årig periode fra 1980´erne til 90´erne, en periode kendetegnet ved varme og tørre somre, rykkede arten f.eks. sin udbredelsesgrænse 600 km nordpå, hvortil den stadig er udbredt den dag i dag.

I Norge er der ligeledes sket en ændring i sommerfuglefaunaen. I 2000 registreredes 11 nye sommerfuglearter, i 2001 var det 15 og i 2002 var det 13 nye arter. Hovedparten af disse sommerfuglearter er små uanselige sydlige arter, som er vidt udbredt i Mellemeuropa, Danmark og det sydligste Sverige (Arvik upubl.; www.toyen.uio.no/norlep).

En lignende trend er registreret i Finland, hvor et antal nye sommerfugle er dukket op siden 2000. I 2000 registreredes 16 nye arter, i 2001 var tallet 18, 15 arter i 2002, 20 arter i 2003 og 21 arter i 2004. Fælles for arterne er, at de alle kommer fra sydligere breddegrader. Mange af dem registreredes i den sydøstlige del af landet, hvilket indikerer en oprindelse fra Østeuropa og Rusland.

Også sommerfuglenes ynglemønster viser nogle ændringer. Siden 1993 er de finske natsommerfugle blevet overvåget. Under overvågningsperioden har der været en del varme somre, og mange arter har bredt sig nordover. Analyser af overvågningsresultaterne viser en stigende tendens i antal arter, som producerer 2 generationer i løbet af sommerperioden. Én art ynglede 3 gange, hvilket var første gang dette blev observeret i Finland. De kommende år vil vise om denne trend er bestående (Leinonen & al. 2003).

...63 % ud af 35 sommerfuglearter har rykket deres udbredelsesgrænse mod nord.



Foto: Sarah Brandt

Den Nordatlantiske Oscillation – NAO

Den Nordatlantiske Oscillation er et klimabegreb, som man bruger om forskellen i lufttrykket over Island og Azoerne. Forskellen i disse to lufttryk fungerer som drivkraft for varm luft fra syd til Nordeuropa. Ved en høj trykforskel (gradient) taler man om en positiv NAO, hvor varm luft presses højt op mod nord, hvilket giver varme og fugtige vintre i den østlige del af Norden. En negativ NAO derimod giver kolde og tørre vintre til den østlige del af Norden.

Figur 9
Den Nordatlantiske Oscillation i negativ og positiv fase.

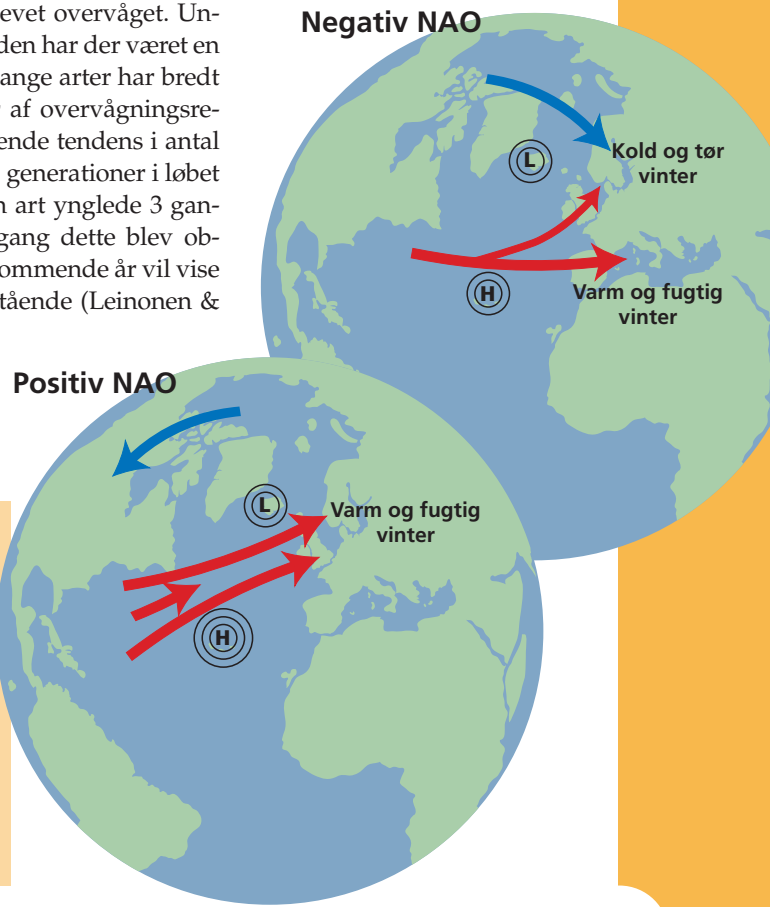




Foto: Bjarne Jensen

Musvitten er en af de fuglearter, som tilpasser ankomst- og æglægnings-tidspunkt til klimaet.

Trækfuglene ændrer adfærd

Også hos trækfuglene er der de sidste 30 år set en forandring. Det viser en lang række undersøgelser (Forchhammer & al. 2002; Stervander & al. upubl.; Crick & al. 1997; Thomas & Lennon 1999; Framstad & al. 2003). En dansk undersøgelse (Tøttrup 2004) viser, at 25 almindelige spurvefugle (*Passeridae*), som tilbringer vinteren sydpå og flyver til Norden for at yngle, ankommer gennemsnitligt 6 dage tidligere nu end de gjorde i 1970´erne. En finsk undersøgelse af 81 trækfugle i perioden 1970-99 viser den samme tendens (Vähätalo & al. 2004).

Trækfuglene tilpasser ankomsttidspunktet til NAO. Ved en positiv NAO fås milde fugtige vintre i Norden, og fuglene ankommer tidligere. Ved en negativ NAO, som giver en kold og tør vinter, udskyder fuglene ankomsttidspunktet. Engelske undersøgelser af musvitter (*Parus major*), blåmejser (*Parus caeruleus*) og fluesnappere (*Muscicapidae*) peger i samme retning. De fleste af fuglene tilpasser ankomst- og æglægningstidspunkt fra de sydligere overvintringsområder til klimaet. Og det viser sig, at langt de fleste ankommer tidligere, yngler tidligere og lægger flere æg end før (Visser & al. 2003; Both & al. 2004).

Der er således ingen tvivl om, at mange fuglearter reagerer på klimatiske ændringer. Problemet ved en så fleksibel tilpasning kan være at øvrige elementer af økosystemerne ikke tilpasser sig med samme hastighed. Er en mindre fleksibel del af økosystemet f.eks. fødegrundlag for fuglene i en kritisk periode, kan dette få store konsekvenser for fuglene. Man taler om et match/mismatch problem (Stenseth & Mysterud 2002, se boks).

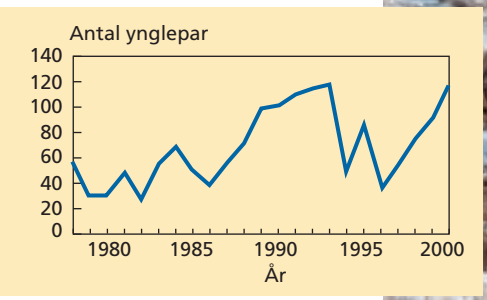
Fremgang for vandstæren

Endnu et eksempel på en klimafølsom art er vandstæren (*Cinclus cinclus*) i Norge. I det sydlige Norge er antallet af vandstære forøget i takt med det varmere klima. Det viser en norsk undersøgelse af vandstæren i et område i Sørlandet, som dækker perioden fra 1978 til 2000 (Sæther & al. 2000). Ved varmere vintre er isdækket på floderne tynde-

Match/Mismatch

Match/Mismatch opstår når forskellige dele af et økosystem kommer ud af fase, således at de gennem århundreder indarbejdede mønstre og indbyrdes samspil brydes og derved svækker økosystemet. Et eksempel er når musvittens (*Parus major*) unger klækkes tidligere end normalt pga. den forhøjede temperatur, og deres hovedfødeemne, den lille frostmålers larver (*Operoptera brunnata*) endnu ikke er klækket (Visser & al. 1998).

Figur 10
Antal ynglepar hos vandstæren fra 1978 til 2000, Sørlandet i Norge (Sæther & al. 2000).



Vandstæren begunstiges af milde vintre.



Foto: Maria Mikkelsen

re eller fraværende, og vandstæren kan lettere fange vandinsekter om vinteren. Som følge deraf overlever flere vandstære vinterperioden (figur 10).

Nordens eksotiske stork i fremgang

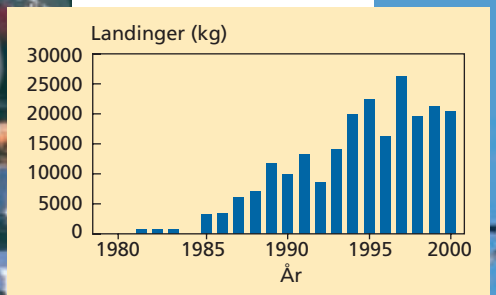
Skestorken (*Platalea leucorodia*) er en anden art, som udviser stor mobilitet og klimafølsomhed. I 1996 vendte skestorken tilbage til Danmark efter at have holdt sig væk i næsten 30 år. Hvert år siden da er skestorken gået frem i det danske fjordlandskab. Normalt forekommer skestorken ikke så langt nord på som Danmark. Ikke desto mindre har Danmark tre gange tidligere i det 20. århundrede haft ynglende skestork, nemlig i 1920´erne, 1940´erne og sidste gang i 1960´erne. De perioder, hvor skestorken har ynglet i Danmark, har somrene været varme og tørre samtidig med, at der har været et "overskud" af skestorke i Holland. Tiden vil vise, om skestorken vil blive en fast ynglefugl i Danmark (Skriver 2002).

Gæster fra syd eller nye medborgere

En anden mulig klimaeffekt ses i havet. Gennem de sidste 15-20 år er tropiske fiskearter rykket nordpå med ca. 50 km om året. En stigende frekvens af sydlige fiskearter, som f.eks. hestemakrel (*Trachurus trachurus*), ansjoser (*Engraulis edentulus*), tyklæbet multe (*Chelon labrosus*) (figur 11) og 10-armede blæksprutter (*Illex illecebrosus*) er set i denne periode. Samtidig med den stigende frekvens af sydlige marine dyr, ses en tilbagegang af koldtvandsarterne torsk (*Gadus morhua*) og rødspætte (*Pleuronectes platessa*) (MacKenzie & al. 2002).



Foto: Highlight



Figur 11
Landinger af tyklæbet multe fra Skagerrak og Kattegat (MacKenzie upubl. data).

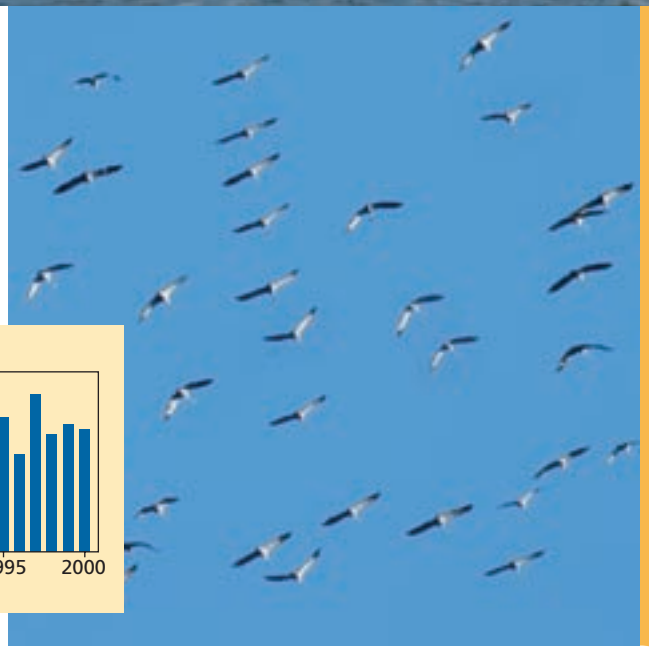
"De sidste 15-20 år er tropiske fiskearter rykket nordpå med 50 km om året"



Foto: Maria Mikkelsen



Foto: Jan Skriver



Polarræven i tilbagegang

Polarræven (*Alopex lagopus*) er gået kraftigt tilbage siden starten af det 20. århundrede. I det 18. århundrede var polarræven almindelig i de nordiske fjeldområder. Antallet af ræve svingede dog meget i takt med bestandssvingningerne hos smågnaverne.

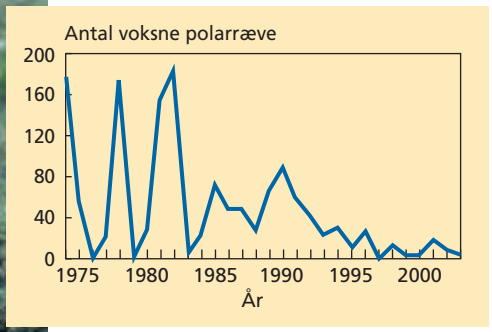
I gode år var populationerne oppe på ca. 5.000 individer i Sverige. Tilsvarende skøn af polarrævpopulationerne i dag er på 50 voksne dyr i Sverige (figur 12). Dyrene er ovenikøbet nært beslægtede, og således er risikoen for indavlsdepression stor (Linell & al. 1999; Kaikusalo & al. 2000) (se boks). Polarræven er truet i Fennoskandinavien og omfattet af EF-habitatdirektivet.

I starten af det sidste århundrede resulterede en intensiv jagt på polarræven, samt udlægning af gift rettet imod de store rovdyr som ulv (*Canis lupus*) og jærv (*Gulo gulo*), i en kraftig reduktion af antallet af polarræve. I 1920´erne var arten forsvundet fra store dele af det nordiske fjeldlandskab. Dette resulterede i en fredning af polarræven i Sverige i 1928, i Norge i 1930 og i Finland i 1940. Fredning til trods er arten stadig yderst fåtallig i Fennoskandinavien. En tilsvarende tilbagegang ses i Canada (Canadian Council of Ministers of the Environment 2003). Tilbagegangen er blevet undersøgt nøje i Norden uden dog at afdække nogen isoleret årsag. En række ændringer kan hver for sig eller tilsammen være årsagen til tilbagegangen (Angerbjørn & al. 1995; Direktoratet for Naturforvaltning 2003), f.eks. en genetisk snæver bestand, problemer for yngledygtige individer at finde hinanden i et fragmenteret udbredelsesområde, som de skandinaviske fjeldområder udgør, en såkaldt Allee-effekt (se boks næste side) og konkurrence fra rødræven (Tannerfeldt & al. 2002), hvis fremgang i fjeldene kan være delvis klimabetinget.

Polarræv (*Alopex lagopus*) – denne er fra Grønland.



Foto: Peter Aastrup



Figur 12
Eksempel på nedgangen i polarræv i perioden 1974-2003 (SEFALO; www.zoologi.sv.se/research/alopex/).

Indavlsdepression
Ved indavlsdepression, som fremkommer når det genetiske materiale er for snævert, opstår individer med homozygoti af skadelige gener. Dette medfører forøget risiko for bl.a. sygdomme, misdannelser, mindre kuld, reduceret reproduktionsevne og mindre kropsvægt.

Ørreder i fjeldområderne

Klimaændringer er som nævnt ikke bare varmere vejr. I flere fjeldområder i Norge er den øgede nedbørsmængde kommet som sne om vinteren (Høgda & al. 2001), hvilket har ført til større refleksion af solens stråler fra sne- og isoverflader. For nogen af søerne har dette ført til senere issmeltning, som igen har resulteret i en kortere vækstsæson bl.a. for ørreden (*Salmo trutta*). I løbet af de sidste 20 år er ørredens tilvækst i disse vande formindsket betydeligt (Borgstrøm 2001).

Generelle effekter

Eksemplerne i det foregående er fra forskellige geografiske områder, forskellige dele af dyre- og planteverdenen og fra forskellige naturtyper. De illustrerer nogle forandringer i naturen, som ikke umiddelbart kan forklares udfra tidligere kendte årsagssammenhænge. Sammenholdt med klimaets forandring kan de være udtryk for, at klimaeffekter i naturen allerede er en realitet.

Allee-effekt
Hvis en dyre- eller planteart, som kræver krydsbefrugtning, er sjælden, er der risiko for, at individer af forskelligt køn ikke mødes. Dette fører til nedsat reproduktion, hvilket igen leder til, at arten bliver endnu mere sjælden. Dette fænomen blev første gang beskrevet af Allee i 1931, deraf navnet.

"Der er forandringer i naturen, som ikke umiddelbart kan forklares ud fra tidligere kendte årsagssammenhænge ..."



Foto: Maria Mikkelsen

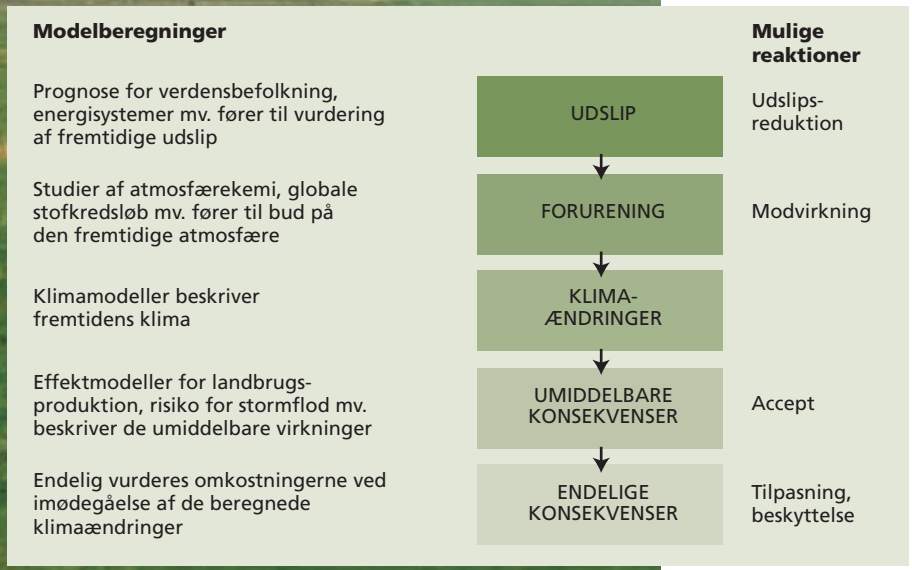
Længere tids isdække af norske fjeldsøer har ført til en kortere vækstsæson og dermed også til en reduktion af fjeldørredbestanden.

3 Fremtidens klima



Foto: Ole Malling

Et er, hvordan klimaet har udviklet sig, og de effekter vi tilskriver denne udvikling. Noget andet er, hvordan det vil gå i fremtiden. Vi ved ikke, hvilken indflydelse naturlige påvirkninger, som f.eks. vulkanudbrud fortsat vil have på klimaets udvikling, men vi kan vurdere, hvordan de har virket i fortiden. Denne virkning kan "trækkes fra" de allerede observerede klimaændringer for at give et indtryk af den hidtidige menneskelige påvirkning. I en sådan eksercits har IPCC (2001) med modelberegninger vist, at naturlige påvirkninger formentlig har spillet en rolle i det 20. århundrede, men at en væsentlig del af de observerede klimaændringer de seneste par årtier må være menneskeskabte (Hassol 2004; IPPC 2001).



Figur 13
Begivenhedskæden i menneskeskabte klimaændringer. Usikkerheden vokser fra led til led (Efter Fenger & Torp 1992).

Fra observationer til fremskrivninger

Klimaet er af afgørende betydning for både natur og menneske. Med klimaets nuværende udvikling er vi inde i en kæde af begivenheder. Menneskelige aktiviteter fører til øget udslip af drivhusgasser. Koncentrationen af drivhusgasserne i atmosfæren stiger. Derved forøges drivhuseffekten og jord/atmosfæresystemet påvirkes. Det medfører klimaændringer. Klimaændringer har i første række effekt på natur, landbrug og fiskeri og i anden række på international handel, sikkerhed, befolkningsvandringer osv. (figur 13).

I praksis er der en række koblinger og tilbagekoblinger (feedback-mekanismer) mellem de enkelte led i kæden. F.eks. vil klimaændringer bevirke ændret energiforbrug til opvarmning/-køling, og dermed udslippet af menneskeskabte drivhusgasser. Endvidere vil klimaændringerne kunne påvirke fremstillingen af vind- og vandkraft, nedbrydningen af organisk materiale og dermed også udslippet af naturligt forekommende drivhusgasser. Hertil kommer vekselvirkninger med teknologiske, sociale og økonomiske faktorer, samt andre miljøpåvirkninger.

Når vi bevæger os fra observationer i fortiden til forestillinger om fremtiden, bliver konklusionerne fra trin til trin mere og mere usikre og må baseres på komplicerede modelberegninger. Med udgivelsen af IPCC´s tredje og seneste samlede vurdering i sommeren 2001 er der dog – på basis af detaljerede beregninger – fremlagt en overbevisende argumentation for, at den menneskeskabte forøgelse af drivhuseffekten uundgåeligt vil medføre et vist mål af klimaændringer. Hvor store ændringerne bliver, hvor hurtigt de forløber, og hvordan de bliver fordelt på Jorden, vil afhænge af i hvilket omfang det lykkes at begrænse de globale udslip af drivhusgasser.

Ingen ved med sikkerhed, hvordan verden teknologisk og samfundsmæssigt vil udvikle sig, men vi kan på forskellig vis opstille mere eller mindre sandsynlige scenarier (se boks). Mere detaljerede udslips- og klimascenarier rækker dog ikke længere frem end 100 år. Det skyldes først og fremmest usikkerheden i antagelsen om den teknologiske og samfundsmæssige udvikling, men også de begrænsninger, som sættes af den tilgængelige computerkapacitet.



Foto: Highlight

Den teknologiske udvikling er afgørende for fremtidens klima og natur.

Figur 14
De fire forskellige scenarier IPCC opererer med indenfor verdens udvikling de kommende 100 år (Efter Nakicenovic & al. 2000).

Udslipsscenarier

IPCC (2001) har opstillet en række såkaldte referencescenarier for den økonomiske, tekniske og demografiske udvikling frem til 2100. De er opdelt i fire "familier" af "historier" (figur 14) alt efter om hovedvægten lægges på økonomi eller miljø og på globalt eller regionalt orienteret udvikling, fra A1 med en fremtidig verden i meget hurtig økonomisk og befolkningsmæssig vækst og nye og mere effektive teknologier, til B2 – En verden der har fortsat befolkningstilvækst, men dog meget mindre end A1, samt en langsommere og mere forskelligartet teknologisk udvikling. Selvom nogle optimistiske scenarier indebærer et fald i udslippet af CO_2, indebærer alle en stigning i koncentrationen fra den nuværende på ca. 370 ppm (milliontedel) til – inklusive usikkerheden – fra under 500 til over 1000 ppm frem mod 2100. Samtidig sker der ændringer i koncentrationen af de øvrige drivhusgasser – groft taget efter samme mønster.

Bortset fra et af de fire scenarier, nemlig B2, stabiliseres CO_2-koncentrationen ikke de første 100 år.

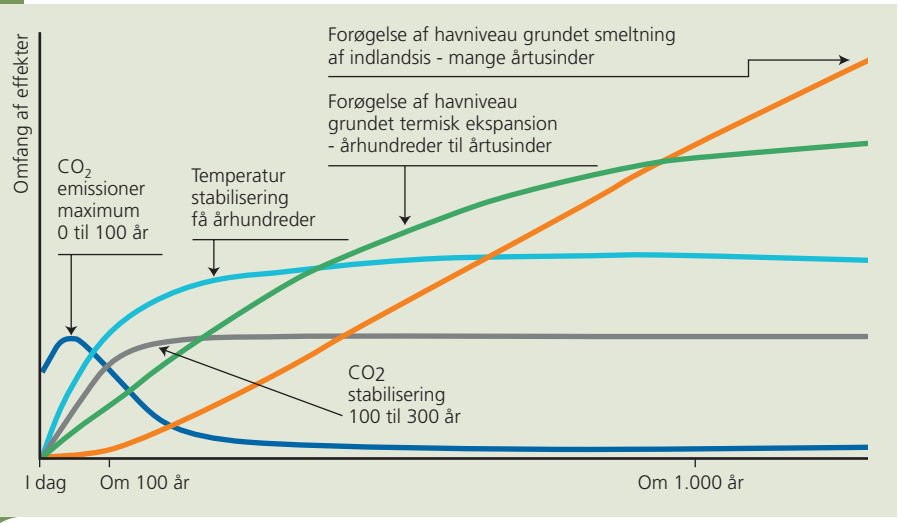
A1
- Hurtig økonomisk tilvækst
- Langsom befolkningstilvækst
- Hurtig udvikling af nye og effektive teknologiske løsninger
- Stigende regional homogenitet med en høj grad af kulturel og social udveksling
- Formindskelse af indkomstforskelle per capita mellem de forskellige verdensdele

A2
- En heterogen verden, kendetegnet ved høj grad af selvforsyning og bevarelse af regional egenart
- Langsom udviskning af forskelle i fødselstal mellem de forskellige verdensdele, med fortsat stigning i verdensbefolkningen til følge
- Økonomisk udvikling hovedsagelig rettet mod egen region
- Splittet og langsom teknologisk udvikling og økonomisk tilvækst per capita

B1
- Øget lighed mellem regionerne
- Langsom befolkningstilvækst, som i A1
- Hurtig økonomisk omstilling til et service- og informationssamfund med faldende råvareudvinding, samt udvikling af rene, ressourceeffektive tekniske løsninger
- Global indsats for at opnå højere grad af retfærdighed og økonomisk, social og økologisk holdbar udvikling, dog uden en særlig indsats mod klimapåvirkning

B2
- Lokal satsning på miljøbevaring, social retfærdighed og økonomisk, social og økologisk holdbar udvikling
- Fortsat stigning i befolkningstilvæksten dog langsommere end tilvæksten i A2
- Intermediær økonomisk tilvækst
- En mere langsom og splittet teknologisk udvikling end i fremtidsscenarierne A1 og B1

Figur 15
Et muligt tidsforløb (IPCC 2001). Selvom en fuldstændig forhindring af klimaændringer synes at være umulig, vil enhver opbremsning – både hvad angår opvarmningen og dens hastighed – lette en tilpasning, og i alle tilfælde må en ny ligevægtssituation tilstræbes. Figuren viser et muligt forløb, der går i klima-ligevægt efter et par hundrede år. Figuren er kvalitativ, og viser f.eks. en stabilisering på det dobbelte af det nuværende CO_2-niveau og en endelig global temperaturstigning på ca. 4 °C.



Klimascenarier

På baggrund af såkaldte referencescenarier for den globale udvikling udregnes ved hjælp af klimamodeller tilsvarende stigninger i global middeltemperatur. På basis af de umiddelbare scenarier er den gennemsnitlige temperaturændring beregnet til at stige mellem 1,4 – 5,8 °C frem mod 2100. Den mindste opvarming findes i de scenarier, hvor væksten baseres på ikke-fossile energikilder, og den største findes i det scenario, hvor der antages hurtig vækst baseret på fossile brændsler.

Det skal understreges, at opvarmningen ikke slutter i 2100 i nogen af scenarierne. Med stigende temperaturer stiger vandstanden i havene dels på grund af afsmeltning af gletsjere, dels fordi vand udvider sig ved opvarmning. Disse processer forløber meget langsommere end opvarmningen af atmosfæren. I 2100 vil vandstanden være steget mellem 9 og 88 cm. Effekten af den gennemsnitlige vandstandsstigning vil endvidere afhænge af lodrette landbevægelser. Usikkerheden er stor, men de enkelte scenariers centrale værdier er ikke meget forskellige (30-50 cm). I alle tilfælde vil vandstandsstigningen fortsætte i mange århundreder (figur 15).

Stabilisering på længere sigt

Hvis klimaet skal stabiliseres, må CO_2-koncentrationen først stabiliseres.

En stabilisering på 550 ppm, svarende til en fordobling af det naturlige niveau vil kunne give et forløb som vist i figur 15. De øvrige scenarier giver umiddelbart ingen stabilisering på denne side af 2100. Temperaturstigningen stopper ikke engang i scenarier med stabilisering af CO_2-koncentrationen i 2100. En stabilisering på 550 ppm vil således give en skønnet temperaturstigning på 2,2 °C i 2100 og en endelig stigning på 3,5 °C.

I 2100 vil vandstanden være steget med mellem 9 og 88 cm – og stigningen vil formentlig fortsætte i mange århundreder.



Foto: Maria Mikkelsen

Især lavtliggende kystområder vil være sårbare i forhold til vandstandsstigningen.

Overraskelser i drivhuset

Jorden har som nævnt tidligere af naturlige årsager oplevet store, hurtige klimaskift. Det har derfor været diskuteret, om en forøgelse af drivhuseffekten kunne udløse noget tilsvarende f.eks. gennem en ændring af de store havstrømme. På længere sigt og uden begrænsning af udslippet af drivhusgasser kan sådanne non-lineære effekter ikke udelukkes. Det har specielt været diskuteret om smeltevand fra grønlandske ismasser kunne bevirke en kollaps af Golfstrømmen. Det ville medføre, at Nordeuropa fik et koldere klima i en ellers varmere verden. Sådanne ændringer i havstrømme vil også medføre ændringer i den lokale vandstand. De fleste modelberegninger viser dog, at der de første 100 år næppe bliver tale om mere end en afsvækning af strømmen (IPCC 2001). Det skal dog understreges, at de mekanismer, der styrer havstrømmene, er ufuldstændigt forstået.

Regionale forskelle

Selvom der i alle IPCC´s scenarier forventes en generel opvarmning, vil der blive store regionale forskelle, og de største ændringer vil ske på høje breddegrader. Samtidigt forventes ændringer i nedbørsforholdene. Da varmere luft kan indeholde mere vanddamp, vil den samlede globale nedbør antagelig forøges, men ikke nødvendigvis så meget at det kan opveje den fordampning, der følger med temperaturstigningen. Der beregnes generelt forøget nedbør om vinteren og reduktion om sommeren uden for troperne. I troperne er forholdene mere varierede. I de polare egne vil der generelt blive tale om en kraftig stigning i nedbøren. I de tempererede egne vil stigningen være mindre. Endvidere vil nedbørens intensitet og fordeling på årstider ændres, samtidig med at mere nedbør falder som regn og mindre som sne. Bortset fra i højfjeldet, hvor nedbør om vinteren falder som sne, hvorfor mere vinternedbør i disse egne betyder mere sne. Alt i alt forhold der påvirker vandtilgængeligheden for planterne. En stigning i temperaturen kan også påvirke vindsystemerne, og det kan bl.a. betyde, at der vil blive tale om regionale forskelle i vandstandsstigningerne. Hertil kommer, at det i praksis er den lokale, relative vandstand og risiko for ekstreme værdier, der har betydning for virkningerne. I den forbindelse skal det også tages i betragtning, at landmasserne af forskellige grunde bevæger sig i lodret retning.

Globale sikkerhedsaspekter

Klimaændringerne vil have både positive og negative effekter, men jo større ændringerne er, og jo hurtigere de kommer, jo mere vil de negative virkninger dominere. De vil ramme tropiske og subtropiske områder, og dermed mange ulande, der af ressourcemæssige og teknologiske årsager umiddelbart har begrænsede tilpasningsmuligheder.

En moderat opvarmning vil næppe gøre livsbetingelserne på Jorden som helhed ringere, men alene de regionale forskydninger kan give alvorlige problemer. De fremskrevne klimaændringer kan betyde, at millioner af mennesker bliver tvunget til at flytte fra områder, som ikke længere kan brødføde dem, eller som bliver oversvømmet. Da Nordens muligheder for fødevareproduktion formentlig, modsat de sydligere egne, vil blive forbedrede, kan det betyde et øget pres på den nordiske natur.



Foto: Maria Mikkelsen

> **De ekstreme vejrhændelser er afgørende for virkningen af klimaændringen.**

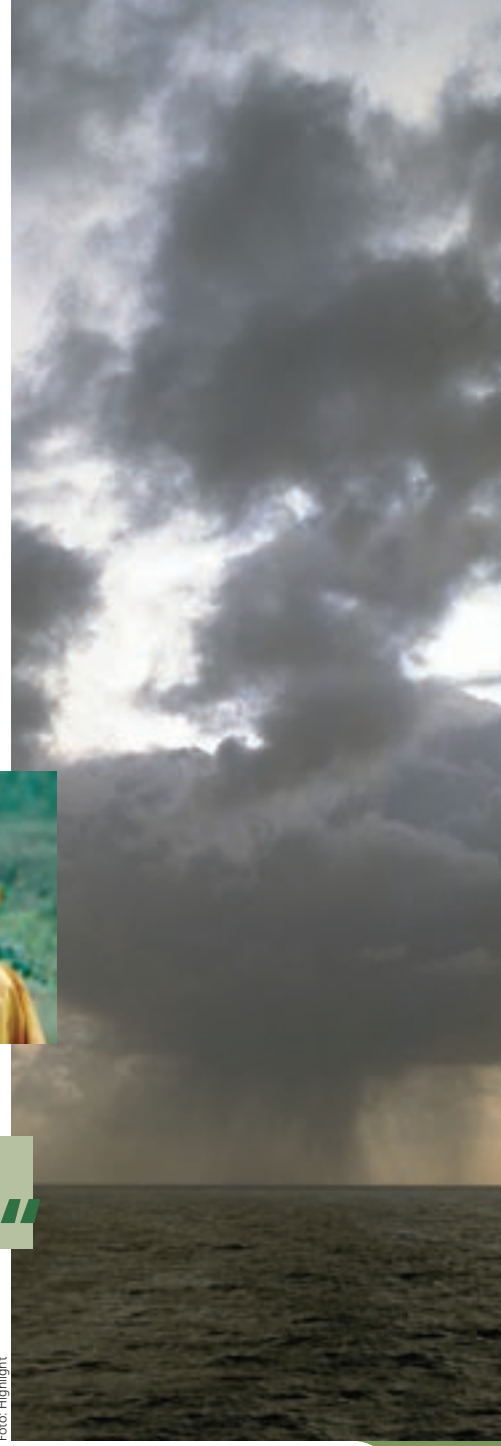


Foto: Highlight

Der forventes en generel stigning i nedbøren.

Nordens klima i fremtiden

Når vi mere detaljeret skal vurdere virkningerne af klimaændringer, er udgangspunktet selvfølgelig en antagelse om en fremtid med store usikkerhedsmomenter. Hertil kommer, at de globale klimamodellers opløsning umiddelbart er for grov, når man skal se på konkrete virkninger i mindre områder som f.eks. Norden. Globale modelberegninger har kun en opløsningsevne på 300-500 km, som dog ved indlejring af detaljerede beskrivelser af regionale områder i de globale resultater kan forbedres.

Når man laver sådanne beregninger, viser det sig imidlertid, at resultaterne ikke alene afhænger af de umiddelbare antagelser om verdens udvikling, som ligger i valget af emissionsscenarierne, men også af de metoder (modeller) der anvendes til nedskaleringen. Resultatet er, at detaljerede beskrivelser, som kan opnås i konkrete beregninger, nok kan være interessante set fra et videnskabeligt synspunkt, men er mindre værdifulde i tilrettelæggelsen af en tilpasningsstrategi. Her er det i højere grad hele spektret af udviklingsmuligheder, der har interesse. Man kan angive nogle generelle retningslinier og må derefter planlægge fleksibelt. Som eksempel er vist resultater opnået med den regionale svenske SWECLIM model (Bernes 2003) (figur 16-17).

I Finland og Norge har man også udarbejdet nationale scenarier gennem henholdsvis FINSKEN (1999-2002) og RegClim (Regional Climate Developement under Global Warming). Figur 16 viser middeltemperaturen 1961-1990 og den beregnede middeltemperatur for perioden 2071-2100, samt forskellen mellem de to perioder. Stigningerne om vinteren er 3–6 °C, og om sommeren kun 2–4 °C. Da temperaturgradienterne i Europa er svagere om sommeren end om vinteren, svarer forandringerne dog både i sommer- og vintertemperatur til en forskydning af temperaturklimaet mod nord på 500 til 1000 km i fladt terræn. Det mest bemærkelsesværdige resultat er de ekseptionelt kraftige stigninger i sommertemperaturen i de sydvestlige og centrale dele af Europa. Dette indebærer, en kraftig stigning i temperaturforskellen mellem det sydvestlige og centrale Europa på den ene side og Nordeuropa på den anden. Resultatet af dette er, at det store område i Mellemeuropa som i dag har sommertemperaturer på mellem 15 og 18 °C, ikke kun vil kunne blive forskudt nordpå til Nordeuropa, men arealmæssigt også formindskes. For arter, som trives i dette temperaturinterval, kan det blive nødvendigt – hvis man vil bevare disse arter – at forberede levemuligheder i blandt andet Norden.

Der er dog store forskelle i modelresultaterne mellem engelske og tyske globale model beregninger. De er derfor vist separat. Den engelske model viser stort set en stigning i nedbøren på 10-20% i hele Skandinavien, medens den tyske model har stigninger helt op til 60% på Norges Vestkyst.

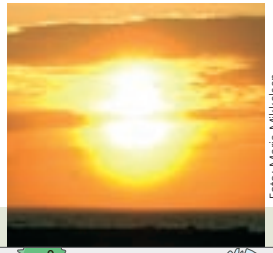
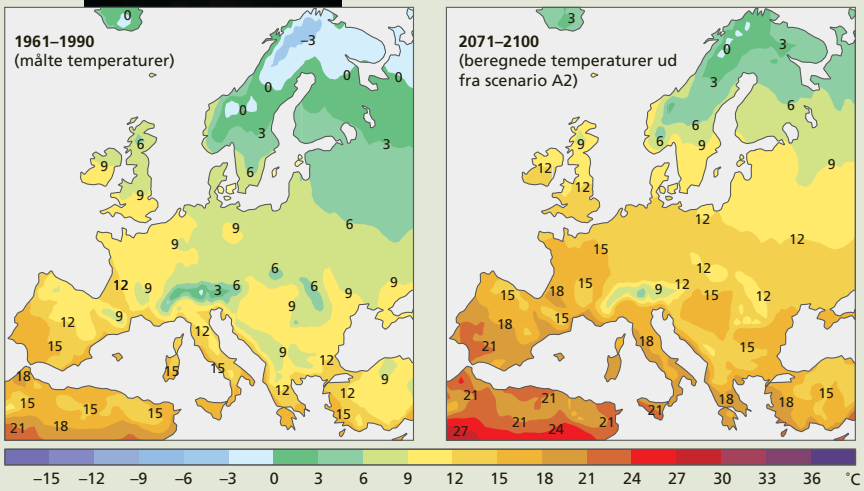


Foto: Maria Mikkelsen



Figur 16
Middeltemperaturer i Europa
i de to perioder 1961-1990
og 2071-2100
(Efter Bernes 2003).

Forskellen mellem modellerne er tydeligst i vinterperioden, hvor den tyske model forudsiger en kraftig stigning i nedbøren i hele Norden men dog specielt i de vestlige og nordlige dele. I den engelske model får store dele af Norden ligeledes en stigning i nedbør. De vestlige fjeldområder og kystlinien nordvest for disse afviger dog markant fra de øvrige områder (og fra den tyske model) og beregnes til at få uforandret eller en nedgang i vinternedbøren.

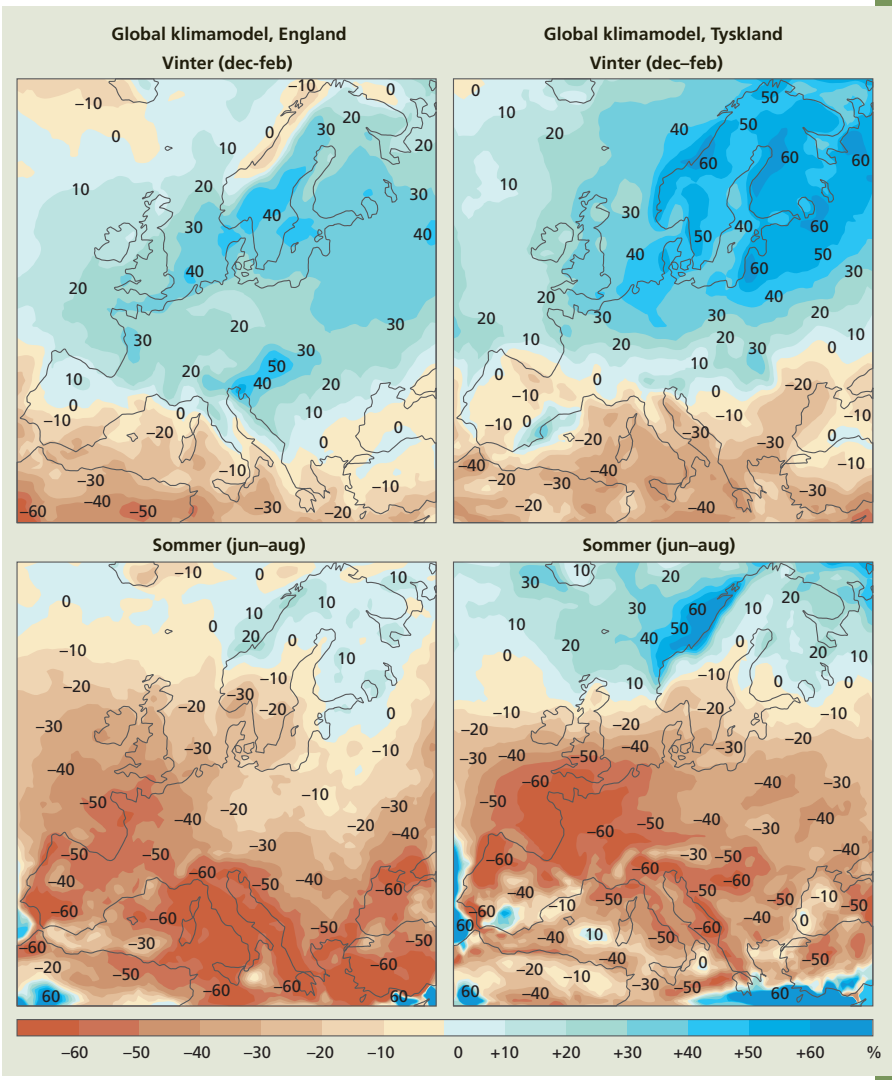
Hvilken af modellerne, som kommer nærmest sandheden mht. nedbøren, vil bl.a. være afgørende for glaciærernes fremtid i fjeldområderne – total afsmeltning eller mulighed for fortsat eksistens pga. øget snepålejring under vintertiden. Det samme gør sig gældende for omfanget af vegetationszonernes forskydning opad i det samme område. For sommertid viser begge modellerne en nedgang i nedbøren på omkring 10–30 % i det sydlige Norden og næsten uforandret eller med en mindre stigning i den nordlige del. Den tyske model afviger hér ved at vise en særdeles kraftig forøgelse af nedbøren langs den norske vestkyst (figur 17).

Selv om de stigende temperaturer giver øget fordampning vil afstrømningen øges i den nordlige del af Norden – mest selvfølgelig ved indlejring i den tyske model. I det sydlige Norden, hvor afstrømningen allerede nu er lille om sommeren, kan forekomsten af hændelser med kraftig sommertørke muligvis øges betydeligt, og det kan blive almindeligt forekommende, at vandløb og elve periodevis helt udtørrer. Vindstyrken vil markant forøges i hele Norden ved indlejring i den tyske model, medens der ved indlejring i den engelske kun vil være en mindre stigning i Den Botniske Bugt. Et yderligere usikkerhedsmoment i vurderingerne er, at der er sandsynlighed for, at ekstremværdierne i de meteorologiske parametre vil forøges både i størrelse og hyppighed. Det vil kunne give langt større og mere alvorlige effekter, end dem man vurderer ud fra de rene middelværdier, og er af denne grund meget vigtige at inddrage i planlægningsarbejdet.



Foto: Highlight

> **En klimatilpasningsstrategi må tage højde for hele spektret af udviklingsmuligheder – også de ekstreme.**



Figur 17
Ændringer i sommer- og vinternedbør ud fra den engelske model (t.v.) og den tyske model (t.h.) (Efter Bernes 2003).

4 Fremtidens natur – fra fjeld til hav

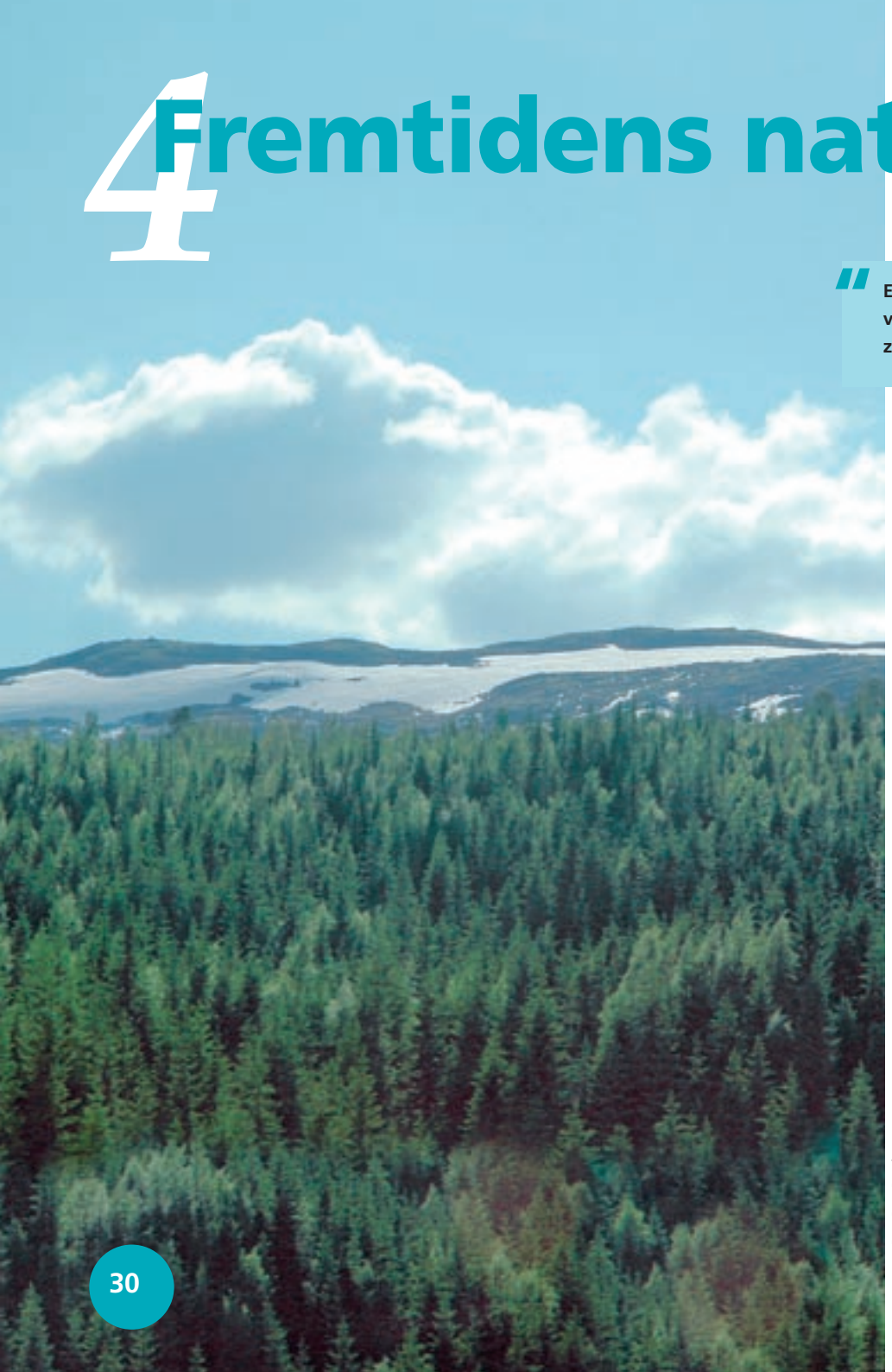


Foto: Peter Brandt

> **En hovedeffekt af klimaændringen vil være en forskydning af vegetationszonerne opad og nordpå.**

Regionale klimafremskrivninger er usikre – både fordi man ikke kender fremtidens udslip af drivhusgasser, og fordi forskellige modeller giver forskellige resultater med samme input (jf. foregående kapitel). Generelt kan man dog sige følgende:

Sverige, Norge, Finland og Danmark strækker sig over et geografisk set meget stort areal, med 5 vegetationsbælter og 4 klimazoner. Det betyder, at udgangspunktet er heterogent, hvilket også afspejler sig i effekterne.

En temperaturstigning på 1 °C svarer groft sagt til, at vi rykker 150 km mod ækvator. 4 °C svarer derfor til 600 km eller til forskellen mellem København og Frankfurt. Man må dog ikke lægge for meget i sådanne kontante sammenligninger, dels fordi bl.a. solhøjden og jordbunden ikke ændres, dels fordi ekstremværdier i temperatur, nedbør, vindstyrke og vandstand ofte er mere afgørende end gennemsnitsværdier. Alligevel er hastigheden, hvormed ændringerne sker, afgørende for planters og dyrs muligheder for tilpasning. Hvis der var fri bevægelighed og tid nok, kunne økosystemerne tilpasse sig ved naturlig selektion eller ved at flytte sig til et passende habitat. Dette er imidlertid ikke tilfældet i dag.

I det følgende kapitel skitseres mulige udviklingstendenser for forskellige økosystemer for at give et indtryk af hvilket komplekst udviklingsscenarie, man bør integrere og tage højde for i forvaltningen af naturen og naturens ressourcer. Der er ikke taget udgangspunkt i et enkelt klimascenario, idet usikkerhederne er så store både i forudsætninger og effekter, at det ikke vil give mening. Det interessante er at se på hovedtendenser i effekterne af en temperaturstigning, nedbørsændring, ekstrem vejr, samt de mulige kombinerede effekter. Enhver opdeling af naturen vil være kunstig. Hér har vi valgt at beskrive sandsynlige udviklingstendenser i en række økosystemer fra fjeldnatur, over nogle af de terrestriske naturtyper, til det marine miljø.

Fjeldnaturens reaktioner

For fjeldenes natur er en hovedeffekt af klimaændringen en forskydning af vegetationszonerne nordpå og opad topografisk, så det træløse fjeldlandskab vokser til. Trægrænsen styres primært af sommermiddeltemperaturen, der som minimum skal ligge over 10 ºC i en måneds tid for, at træerne skal kunne vokse. Et scenario baseret på modellerne præsenteret i kap. 3 indikerer en forhøjelse af trægrænsen på mellem 230-670 m, indenfor de næste 100 år i de svenske fjeldområder, hvilket svarer til at fjeldhedernes samlede areal reduceres med 75-85 % (Moen & al 2004). Vandringsruten "Kungsleden" ville således blive en skovvandring

og skiområder som Sälen og Åre ville miste deres alpine karakter. Tendensen ses allerede i nogle af de svenske fjelde, hvor trægrænsen siden slutningen af 1800-tallet er forskudt opad med et par hundrede meter (Kullman 2001). En øget sneakkumulation om vinteren og et mere skyet og blæsende sommerklima (jf., den tyske model i kap. 3) kan evt. formindske denne stigning (Dalen & Hofgaard 2005), og omvendt kan en modsat trend føre til større forandringer (jf. det engelske scenario i kap. 3). Andre faktorer, som kan dæmpe stigningen i trægrænsen noget, er en forventet stigning i insektangreb og sygdomme, samt ændring i græsningstrykket (Hofgaard 1997).

Artsdiversitet

Også artsdiversiteten i fjeldøkosystemerne forventes at ændre sig ved en klimaændring. Fjeldenes økosystemer, specielt de højere liggende zoner, er generelt set artsfattige, selvom visse artsgrupper har en forholdsvis høj diversitet, f.eks. karplanter i visse lavalpine miljøer og laver i højalpine miljøer. Det totale antal arter kan derfor forventes at stige gennem indvandring af arter fra lavere niveauers artsrigere økosystemer.

Trusselsbilledet er ikke, at biodiversiteten formindskes lokalt, men snarere at diversiteten mindskes totalt i Norden, Europa og globalt, idet visse for fjeldene unikke arter mister så stor en del af deres livsmiljø, at populationerne ikke længere er livskraftige.

Mest truede er arter fra den mellem- og højalpine zone, eftersom arealerne af disse formodentlig bliver kraftigt reduceret og i store dele af fjeldene helt forsvinder. Arter knyttet til fjeldene med store arealkrav vil dog formodentlig være udsat for en mere generel trussel, da træløse fjeldområder af alle slags vil blive fragmenteret i mindre arealer isolerede af de omgivende skov-områder (Sonesson & Lilliesköld, 2000).



Foto: Hans Ohrt

"Kungsleden" kan i løbet af de næste 100 år blive en vandring gennem skov.

"Den største trussel mod fjeldnaturen er formodentlig reduktionen af de træløse fjeldområder."



Foto: Peter Brandt

Israunkel (*Ranunculus glacialis*) vokser på fjeldet nær iskanter, langt væk fra skovområderne.



Foto: Maria Mikkelsen

Skov, industri og natur

Den skov, som vi ser i Norden i dag, er ofte drevet med økonomisk vinding for øje og er således ikke kun udtryk for klimatiske og geologiske forudsætninger, men også for erhvervs- og samfundsmæssige interesser. Dette slører klimaforandringens effekt.

Generelle effekter

En generel effekt, som allerede ses, er dog vækstsæsonens forlængelse, som betyder øget biomasseproduktion, forøgede muligheder for at dyrke nye træarter og øget risiko for patogener og frostskader (Hänninen 1991). Konkurrenceforholdene vil ændre sig og nye arter fortrinsvis fra syd og øst vil have forbedrede etableringsmuligheder. Desuden vil hyppigheden af skovbrande pga. perioder med sommertørke sandsynligvis stige (Suffling 1992).

> **Også i skoven vil konkurrenceforholdene ændres og dermed åbne etableringsmuligheder for nye arter.**

På grund af den forlængede vækstsæson forudsiges det, at nettoprimærproduktionen for visse arter og regioner forøges med op til 20%. En forøgelse af nettoprimærproduktionen vil gælde for alle primærproducenter i skoven, om end den ikke vil ligge på 20% for alle arter. Dette betyder f.eks. at skovbundsvegetationen (sv. fält och bottenskiktet), der som oftest består af vilde planter og urter, vil udgøre en stærkere konkurrent for nyplantet skov.

Den forlængede vækstsæson betyder ligeledes, at risikoen for frostskader forøges, idet den temperaturinitierede tilvækst i det tidlige forår kan skades af de enkeltvis forekommende frostnætter. Dette ses allerede, men frekvensen af frostskader forventes at stige. Indenfor skovbruget har man hidtil regnet med en omdriftsalder på mellem 60 og 130 år. Forlængelsen af vækstsæsonen betyder, at omdriftsalderen kan sættes ned, hvilket har flere fordele for skovdriften, men ikke nødvendigvis for biodiversiteten. Dels når træerne den optimale omdriftsalder hurtigere, dels giver det en større fleksibilitet i forhold til klimaets løbende ændring. Tilplantningerne vil typisk kunne ske med sydligere provenienser eller helt nye arter. Brugen af nye træarter, hyppigere omdrift og jordbearbejdning vil få betydning for den eksisterende flora og fauna. Derudover kan hyppigere omdrift bidrage til øget forsuring af jorden ved, at en større mængde næringssalte (basekationer) tages ud af skovøkosystemet.

Sygdomme

Som nævnt forudses en stigning i omfanget af sygdomme på træerne, dels pga. ændrede temperaturforhold, dels ændret nedbør, tørkestress og evt. ændrede vindforhold. Tilsammen stresser det skoven og gør den mere modtagelig overfor sygdomme og skadedyr.

Skovbrande

Når nedbørsfrekvensen falder i sommermånederne, stiger risikoen for tørke og dermed skovbrande. En undersøgelse (Suffling 1992) viser, at en temperaturstigning i juli/august på 2 °C vil forøge risikoen for skovbrande med 5 gange. Hyppigere skovbrande vil begunstige brandtilpassede arter på bekostning af arter med krav om lang kontinuitet.

En højere brandfrekvens end idag er dog et naturligt element i den boreale skov. Man regner med, at det tidligere under mere naturlige forhold brændte med 50 til 200 års mellemrum (Zackrisson 1977). Den store variation i brandfrekvens bygger på, at naturligt tørre områder brænder tiere end fugtige og våde områder. I nogle områder, hvor der meget sjældent eller aldrig forekommer skovbrande pga. topografi og hydrologiske forhold, udvikles såkaldte brandrefugier. Som resultat af denne brandfrekvens er den naturlige boreale skov tilpasset brand.

Dagens naturforvaltning og fremfor alt dagens skovbrug bygger imidlertid på et system, hvor skovbrande bekæmpes. Dette har medført, at artsfordelingen i dagens boreale skove adskiller sig fra den naturlige, brandtilpassede artssammensætning. Dette gælder primært for vegetationen, men også insektfaunaen er forandret pga. de fraværende skovbrande.

Skovens store græsædere

Temperaturforandringen og de deraf kommende ændringer i skovene vil påvirke skovens store græsædere. Det svindende snedække og de kortere vintre vil formodentlig øge populationstætheden af rådyr, kronhjorte og dådyr (indført til Norden omkring år 1200 fra Lille-Asien) i deres nordlige udbredelsesområder. Elgen (*Alces alces*), hvis udbredelse er begrænset af høje sommertemperaturer og kølige vintre (Andersen & Sæther 1996) vil derimod formodentlig gradvist forsvinde fra de sydligere udbredelsesområder.

Rensdyrene (*Rangifer tarandus*) vil muligvis ligesom elgen blive påvirket negativt af et mildere klima. Resultater fra et forsøg indenfor netværket International Tundra Experiment (ITEX) i bl.a. Abisko og Alaska har vist, at vegetationen i rensdyrenes udbredelseområde overgår fra at være domineret af græsser, laver og bærbuske til et mere højbusket samfund. Eftersom rensdyret hovedsageligt lever af laver og bærbuske, vil en sådan forandring kunne påvirke rensdyrets udbredelse.

Der findes dog rensdyr, som lever i skov året rundt, og som dermed har en anderledes fødesammensætning end de rensdyr, som under sommeren græsser på højfjeldet. Skovrenen vil derfor ikke blive påvirket af, at fjeldheden overgår til et mere busket landskab. Hvis rensdyrets sommergræsning forsvinder pga. en tilgroning af fjeldheden, vil det traditionelle samiske rensdyrerhverv formodentlig blive mere påvirket end rensdyret som art.

Vildsvinet

En såkaldt nøgleart for skoven er vildsvinet, som har sin naturlige udbredelse i Syd-, Mellem- og Østeuropa, men er introduceret i det sydlige Sverige og visse steder i Norge. Vildsvinet roder i sin fødesøgning op i skovbunden og æder, hvad den støder på, herunder rødder, insekter og nødder. Den præger naturen i næsten samme grad som f.eks. bæveren. Vildsvinet kan muligvis med klimaændringen sprede sig nord på eller få endnu bedre fæste i Norge og Sverige og dermed påvirke skovens flora og fauna.

En trussel mod rensdyret og andre græsædere er risikoen for øget snedybde. Med dette vanskeliggøres både græsning og mobilitet. En anden fare for græsæderne er, at det fremtidige klima også medfører en øget risiko for islag, som resultat af vekslende tø og sne. Dette islag kan dække laver og urter, og vanskeliggøre fødesøgningen for de græssende dyr. Et sådan islag fører også til, at det rum under sneen, som bl.a. gnavere lever i, forsvinder. Dette leder til begrænsede jagtmuligheder for de rovdyr, der lever af byttedyrene under sneen.

Elgspor – elgen foretrækker et køligere klima (øverst).

Dådyret er en af de arter, som formodentlig vil nyde godt af et varmere klima (nederst).



Foto: Maria Mikkelsen



Foto: Maria Mikkelsen

Jærven (nederst), som er knyttet til den boreale skov og tundra (øverst) vil være sårbar overfor ændringer i disse biotoper.



Foto: Talvi Maisema



Foto: Peter Brandt

De store rovdyr

Udbredelsen for tre af de store rovdyr, bjørn (*Ursus arctos*), ulv og los (*Lynx lynx*), vil formentlig ikke ændre sig med et mildere klima.

Bjørnen og ulven lever allerede idag i meget forskelligartede livsmiljøer, som f.eks. skov, fjeld og tundra. Det samlede udbredelsesområde er dog reduceret betydeligt i dag i forhold til det oprindelige område. Den vigtigste årsag til denne reduktion er mange århundreders jagttryk. Da begge arter er udprægede generalister forventes de ikke at have nogen problemer med et forandret klima.

Lossen adskiller sig fra bjørn og ulv bl.a. ved at være knyttet til klippeterræn med store skovflader. I den senere tid har lossen spredt sig ud i kulturlandskabet og findes nu i store dele af Sverige, Finland og Norge, bortset fra i de mest intensivt dyrkede områder. Udenfor Norden findes lossen bl.a. i urskov af løvtræer i Polen og Hvide Rusland. Dette indikerer ikke, at lossen begunstiges af intensivt jordbrug, men at den trives så længe, der findes store skove også i et mildere klima.

Jærven, som er knyttet til den boreale skov og tundra, forventes derimod at reagere på og følge disse biotopers forandringer. Den er meget sky og og kræver store, helst ubeboede områder med uberørt natur. Som følge af intensiv jagt har jærvstammen hidtil været meget lav, men er nu i langsom fremgang pga. fredning i det sydlige Norge, Finland og Sverige. Jærven er imidlertid stadig truet. Jærven har typisk været knyttet til rensdyrenes græsningsområder, men er nu langsomt igang med at rekolonisere øvrige dele af de uforstyrrede nåleskovsområder. En klimarelateret forandring i den boreale skovs udbredelse vil sandsynsligvis få en direkte påvirkning på jærvens udbredelse (http://www.de5stora.com/rovdjurscentret).

Terrestriske naturtyper

Størstedelen af det terrestriske miljø i Norden, som kan udnyttes, anvendes til jordbrug, skovbrug og bebyggelse i form af byer, industri og veje. En del af det areal, der anvendes til jord- og skovbrug, er i en slags halvnaturform, kun opretholdt ved ekstensiv jord- eller skovbrugsdrift. Det resterende land dækkes af naturlige økosystemer såsom højmoser, fjeldheder mv., alle kendetegnet ved at være næringsfattige.

Generelt kan der, afhængig af hvad der er den begrænsende faktor, forventes en temperatur- og kuldioxidbetinget stigning i primærproduktionen i alle terrestriske systemer med konsekvenser for økosystemernes artsfordeling, diversitet og funktionalitet (Bazzaz & Fajer 1992). Imidlertid er



samspillet mellem temperatur og kuldioxid kompliceret (Mortensen in prep.). Eksperimentelt arbejde viser at blad-photosyntese-aktiviteten stiger til et optimum med stigende temperatur, hvorefter aktiviteten daler igen. Imidlertid stiger dette temperatur-optimum med stigende CO_2-koncentration. Således er CO_2-koncentrationen bestemmende for photosyntesereaktionen overfor en temperaturændring (Norby & Luo 2004). Da CO_2 derfor kan virke som gødning, vil næringsfattige systemer som overdrev og højmoser være udsatte for store forandringer i vegetationssammensætning og funktion.



Foto: Maria Mikkelsen

Også for højmoser indebærer klimaforandringen en øget primærproduktion.

Foto: Maria Mikkelsen

Tørveskær – en gammel driftform knyttet til højmoser.

Mange projekter (CLIMAITE, CLIMOOR, VULCAN m.fl) er i gang med eksperimentelt at undersøge en given naturtypes reaktion overfor temperaturstigninger, øget CO_2, nedbørsændringer mv. Det er derfor i øjeblikket kun muligt at skitsere nogle overordnede og usikre tendenser for de terrestriske naturtyper.

Ligesom for jordfaunaen har eksperimenter med temperaturændringer vist store overraskelser. F.eks. viste et forsøg i Colorado, USA, hvor man over en 5-årig periode tilførte vand og kvælstof til græsstepper, at man 16 år efter, at eksperimentet var afsluttet, fandt en overrepræsentation af introducerede arter i samtlige manipulerede områder. Kontrolområderne derimod var uden introducerede arter. Dette kunne indikere, at de oprindelige manipulationer havde skubbet økosystemerne over en tærskel over i en ny tilstand (Milchunas & Lauenroth 1995). Undersøgelsen viser en mulig langtidseffekt af en given påvirkning. Med klimaforandringen ophører påvirkningen ikke, og den kunne bane vej for mange introducerede arter, som kunne opføre sig invasivt (Mooney & Cleland 2001).

Et andet forskerteam har sået tvivl om temperaturstigningens vækststimulerende effekt, idet temperaturstigningen er størst om natten, hvilket stimulerer respirationen og dermed betyder tab af energi for planten. Undersøgelserne, som ligger til grund for denne anskuelse, er dog foretaget i troperne, hvor natlængden er betydelig længere i vækstsæsonen end den er i Norden, hvilket kan have betydning for denne effekt (Peng & al. 2004).

Undersøgelserne illustrerer, hvor svært det kan være at forudsige effekterne af en temperaturstigning, CO_2-stigning og andre klimabetingede ændringer, både direkte og indirekte.

Foto: Highlight

"CO_2 virker ligesom gødning – indtil en vis grænse."



Foto: Peter Brandt

Langbladet Soldug (*Drosera anglica*) – en typisk højmoseplante.

Vandløb – temperaturfølsomme systemer

Vandløb er karakteriseret ved at være forholdsvis lavvandede og velcirkulerede vandsystemer, hvilket betyder at udvekslingen af ilt (O_2) og varme med luften sker forholdsvis let. Således vil vandløb være meget følsomme overfor temperaturændringer. Ligesom i de øvrige økosystemer indebærer en temperaturstigning øget omsætning og tilvækst. Temperaturstigningen vil betyde et øget behov for ilt pga. den stigende omsætning og vandets faldende iltbindingsevne. Dette giver tilsammen en dårligere vandkvalitet.

Visse organismer, som er meget temperaturfølsomme, kan blive dramatisk påvirket af selv mindre temperaturstigninger. Imidlertid har mange vandlevende insekter et bevinget voksenstadie, hvilket betyder, at de aktivt kan søge mere passende habitater. Fisk og padder derimod vil være mere afhængige af spredningsmuligheder i vand.

Derudover vil en stigning i temperatur om sommeren betyde øget fordampning med nedsat vandføring, vandkvalitet og udtørring til følge med deraf følgende konsekvenser for flora og fauna (Opdam & Wascher 2004). En forandring i vandføringsmønstret vil ændre tidspunkterne for og omfanget af oversvømmelser. Dette kan udtørre elve i dele af Norge, Sverige og Finland. Udtørring som vil få omfangsrige følger for arter, som er afhængige af kontinuerlig vanddækning, som f.eks. de fleste fisk. Ændring i oversvømmelsesmønstret vil kunne påvirke føde- og gydevandringer, som normalt er styret af årstid og vandføring. Derudover vil de ændrede forhold formodentlig også kunne medføre øget erosion, som også vil ændre vandkvalitet og vandløbenes fysiske udformning.

Vandløb er bl.a. karakteriseret ved at være velcirkulerede vandsystemer.



Foto: Talvi Malsema

> **Vandløb vil være meget følsomme overfor temperaturstigninger.**

Makrofaunaen

Den akvatiske makrofauna påvirkes bl.a. af temperatur og tilførsel af næringsstoffer til vandsystemerne fra oplandet. Domineres oplandet af nåleskov, som det gælder for det meste af Fennoskandinavien, leder det til næringsfattige vandløb med enkle fødekæder og relativt få arter. Med en stigende andel af løvskov i oplandet som alt andet lige kan forventes ved klimaforandringen, øges mængden af blade i vandsystemet, der i første omgang leder til større forekomst af nedbrydere, og derefter til en større artsrigdom indenfor makrofaunaen. Således vil et varmere klima formodentlig føre til mere komplekse og artsrige makrofaunasamfund i de nordlige vandløb, såfremt løvskoven får lov til at brede sig nord på. Dette kan lokalt måske synes som en fordel for naturens mangfoldighed, men i det større perspektiv på regionalt niveau kan det indebære en biodiversitetsmæssig forarmning (Poff & al. 2002).

> **...temperaturstigningen, ændringen i isdække og nedbørsmønstret udgør de primære klimaændringer med effekt på søerne.**



Foto: Maria Mikkelsen

Isdækkets varighed er af betydning for algernes primærproduktion i søen.

Søer

Norden er rig på søer. Temperaturændringen, ændringen i isdække og nedbørsmønsteret udgør de klimaændringer, der vil have størst effekt på søerne. Hvis vækstsæsonen forlænges vil primærproduktionen formodentlig stige, hvilket vil påvirke søernes trofiske niveauer og stabilitet. Det ændrede nedbørsmønster vil, ligesom for andre økosystemer, kunne medføre øget udvaskning af næringsstoffer, såvel som organisk materiale og dermed hæmme den lysafhængige primærproduktion. Effekten af ovennævnte klimaforhold påvirkes af flere faktorer, som ikke umiddelbart har med klimaet at gøre, f.eks. søens dybde, oplandets omfang og karakter og næringsstofbelastningen (Jeppesen pers.com.).

Temperaturstigning i en næringsrig sø

En næringsrig sø kendetegnes ved at have et stort indhold af næringsstoffer, som kvælstof og fosfor. Næringsstofferne stimulerer algevæksten, hvorved lysgennemtrængeligheden reduceres, hvilket svækker vandplanterne/makrofytterne. Tab af makrofytter betyder tilbagegang for rovfisk som gedde (*Esox lucius*) og aborre (*Perca fluvitilis*), som trives blandt planterne. En reduktion i trykket fra rovfiskene på fredfisk, som brasen (*Abramis brama*) og skalle (*Rutinus rutinus*) vil betyde en fremgang for disse arter, hvilket vil øge græsningstrykket på deres fødeemne nemlig zooplankton, som så går tilbage. Effekten af dette er, at algerne dermed går frem, og forureningscirklen cementeres med en grumset og næringsrig sø (Carpenter & al. 1992).

Forskerne forventer, at temperaturstigningen i lavlandet vil forlænge sæsonen med springlag, som adskiller overfladevandet fra bundlaget. Dette vil øge iltsvindet på bunden, hvilket medfører forandringer i artssammensætningen hos fisk, bundfauna, makrofytter og plankton og evt. frigivelsen af de i sedimentet bundne næringsstoffer, tungmetaller mv. Konsekvenserne af dette er ukendte.



Istidsrelikter i søer og på land

Med istidsrelikt i søer menes organismer som levede i det tidligere ishav, og da isen smeltede blev fanget i de søer, som efterhånden opstod som resultat af landhævningen. Istidsrelikternes naturlige udbredelse indskrænker sig derfor til søer og vandløb under den højeste kystlinie.

Invertebrate istidsrelikter er følsomme overfor lavt iltindhold og for lave ph-værdier og er således udmærkede indikatorer for vandkvalitet. I Sverige regner man med at der findes ni arter af istidsrelikter blandt fisk, og otte arter blandt krebsdyrene.

På land er planten gul stenbræk (*Saxifraga hirculusa*) et eksempel på en blomsterplante der efter istiden i Danmark kun overlevede i kildevæld, hvor vandtemperaturen er meget konstant og lav året rundt. I Norden findes arten i dag spredt op gennem fjeldkæden med hovedudbredelsen i det nordlige Finland. Man kan derfor diskutere, hvor stor bevarelsesindsatsen skal være for at bevare gul stenbræk i Danmark.



Foto: Maria Mikkelsen

Gedden er en af de fisk, som muligvis vil klare sig ringere med klimaforandringen.

Karpen

Den meget karakteristisk fisk karpen (*Cyprinus carpio*) vil med klimaændringen sandsynligvis få forbedrede levemuligheder i de sydlige dele af Norden. Dette vil have omfangsrige konsekvenser, idet karpen i sin fødesøgning hvirvler op i bundsedimentet, og dermed gør søen grumset og uigennemtrængelig for lyset. Dette vil presse rovfisk, som jager med synet og gå ud over makrofytterne.

Uvis fremtid for næringsfattige søer

Hvad der sker med de næringsfattige søer er ligeledes uvis. På den ene side peger den øgede vækstsæson på, at vandplanterne, som ved fotosyntese renser vandet, får forbedrede vækstbetingelser og dermed større vandfiltreringskapacitet. På den anden side kan vækstsæsonens udvidelse og temperaturstigningen forøge algevæksten, derudover forøges udvaskningen af næringsstoffer og organisk stof med det ændrede nedbørsmønster. Og dermed bliver søen mere næringsbelastet (Weyhenmeyer upubl.).

Fiskefauna

Søernes fiskefauna ændres formentlig også med klimaforandringen. En sandsynlig ændring vil være en indvandring af fiskearter sydfra. Omfanget af og hastigheden, hvormed denne spredning af arter kan ske, er afhængig af tilgængeligheden af spredningskorridorer. Bl.a. i hvor høj grad søerne er forbundet med hinanden via vandløb og af hvilke fysiske barrierer, der måtte være, som forhindrer bevægelsen (Poff & al. 2002).

Effekterne af klimaændringen i søerne generelt vil således kompliceres af kumulerede, non-lineære og koblede feedback mekanismer. Omfanget og effekten af klimaforandringen vil derfor variere betydeligt mellem og indenfor de enkelte regioner. Ligesom for de øvrige økosystemer må man i naturforvaltningen operere med en meget stor usikkerhed omkring søernes udvikling.

> **Fremtiden for søerne er uvis.**



Foto: Maria Mikkelsen

De store granskoves søer

Søerne i Sverige, Norge og Finland er placeret i det boreale nåleskovsbælte. Dette er tilsammen med klippegrunden årsagen til, at søerne i området som regel er sure og næringsfattige. I og med at vi kan forvente en nordligere udbredelse af løvskoven vil dette for mange skovsøer betyde en aftagende surhedsgrad og en stigning i næringsstofindholdet. Det vil betyde en indirekte påvirkning af søerne i området henimod mere næringsrige søer.

Kystnære økosystemer

De scenarier man opererer med vil formodentlig betyde tab af kystnære naturtyper, ændring i vandkvalitet og ændrede forudsætninger for fiskeriet. Vandstandsstigningen vil placere lavtliggende kystnatur under et stort pres. Strandenge og lignende vil forsvinde under havoverfladen uden at blive erstattet inde i landet pga. en effektiv udnyttelse af landskabet. Også mobilisering, transport og tilbageholdelse af organisk materiale vil blive påvirket, hvilket i sig selv vil påvirke næringsstof- og vandtransporten i økosystemet (Kronvang & al. 1999). Dette vil ramme de arter, som er knyttet til strandenge, marskområder, lavvandede fjordområder, mv., herunder strandengsplanter og andre planter knyttet til det saltvandspåvirkede miljø, samt træk- og vadefugle.

Ved den største af de forventede vandstandsstigninger vil arter knyttet til kystzonen som f.eks. havtorn (*Hippopae rhamnoides*) i Den Botniske Bugt og den for Østersøen endemiske plante, strandbunke (*Deschampsia botnica*) presses voldsomt eller helt forsvinde. Da mange naturtyper og arter knyttet til kysten, ofte er af national og international betydning, er kystøkosystemerne specielt vigtige i denne forbindelse (Vestergaard 2001).

Marine økosystemer

Marine økosystemer påvirkes primært af ændring i temperatur og vindmønster. Det forventes at klimaændringen generelt set vil medføre højere vandtemperaturer og øget udslip, dels pga. øget udvaskning, og dels pga. øget omsætningshastighed med mindre nedtrængning af lys og øget sandsynlighed for iltsvind og faldende salinitet til følge. Det vil have store effekter på havets organismer. Derudover stimulerer øget CO_2-koncentration ligesom højere vandtemperatur havets primærproduktion (Hein & Jensen 1997).

Springlaget forskydes

En afgørende parameter for havets dynamik og funktion er – ligesom for søernes vedkommende – springlaget. Bund- og overfladevandet adskiller sig ved forskellig temperatur, salinitet og/eller strømretning (Christensen & al. 2004). Springlaget forventes at blive presset nedad i alle farvande med 0,5 - 1 m. Det forventes ligeledes, at dette lag vil blive kraftigere end i dag og dermed reducere opblandingen af bundvand med overfladevand og forøge risikoen for iltsvind, bundvendinger og dermed også frigivelse af næringsstoffer, som kvælstof og fosfor.

I sedimentet er der stoffer som f.eks. den kraftige drivhusgas metan, tungmetaller og organiske stoffer som f.eks. dioxin (Verta & al. in prep.). Det er uklart hvilken effekt, det muligt forøgede antal bundvendinger får for de i sedimentet bundne stoffer.

"Også i havet forventes klimaforandringen at medføre øget primærproduktion."

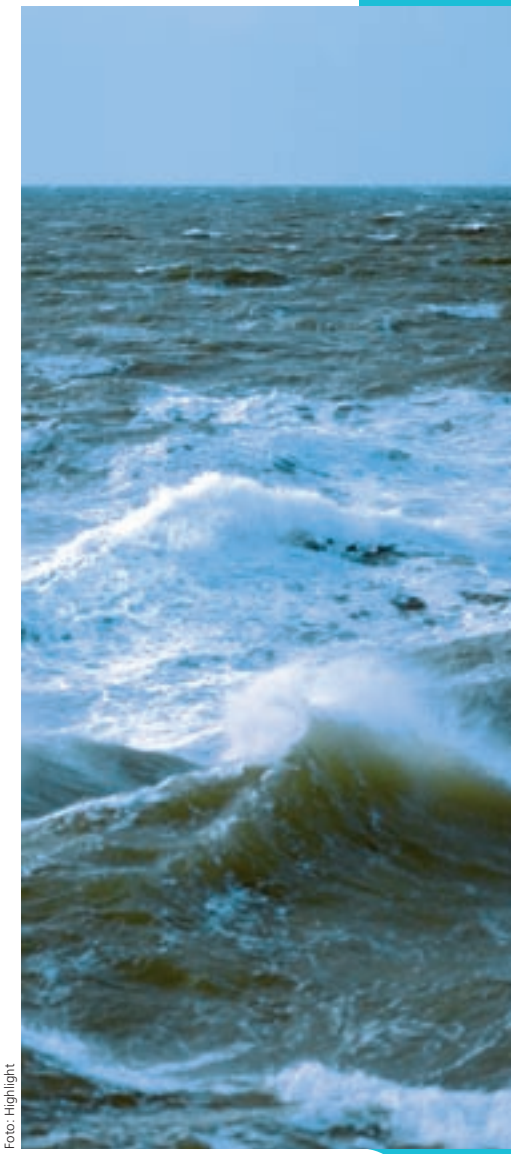


Foto: Highlight

Ligesom for søernes vedkommende forventes det, at springlaget i havet styrkes med konsekvenser for hele økosystemet.

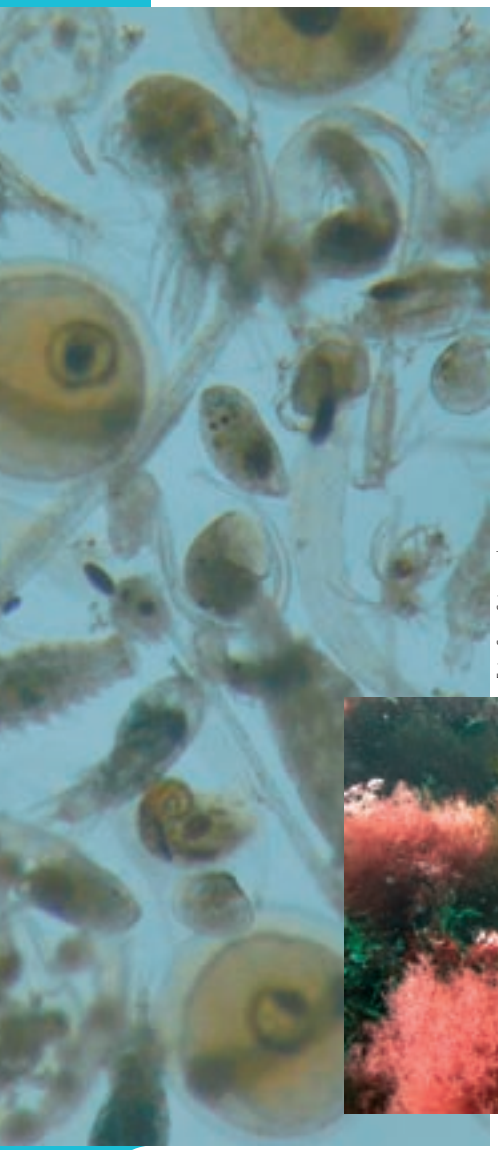


Foto: Suree Satapoomin

Marine planter og dyr

Marine planter og dyr vil blive påvirket af klimaændringerne både direkte og indirekte. En temperaturstigning vil også i havet øge hastighederne, hvormed de biologiske processer, som tilvækst, omsætning og nedbrydning forløber. Desuden vil temperaturen påvirke arternes udbredelse af de enkelte arter, konkurrenceforholdene mellem arterne, økosystemernes strukturer og funktioner mm.

Planteplankton – et af de nederste led i fødekæden – ventes at øge produktionen pga. temperaturstigning og øget udvaskning af næringsstoffer fra landjorden. Dette vil forstærke de effekter som allerede ses af eutrofieringen på vandplanterne.



Foto: Karsten Dahl

Marine planter og dyr indgår i et komplekst økosystem. En entydig klimaeffekt er svær at forudsige.

Konsekvenser for fiskene

Temperaturstigningen og muligt fald i salinitet pga. øget udvaskning vil have store konsekvenser for fiskene. Det er vanskeligt at forudsige effekten for de enkelte arter og populationer, der forventes dog følgende hovedlinjer:

- Overlevelse, vækst og reproduktion af fiskearter ændres i takt med forandringen. Disse ændringer vil skade visse og begunstige andre, og således ændre artssammensætningen af de eksisterende arter.
- Derudover forventes en indvandring af nye arter, som betyder, at de hjemmehørende arter udkonkurreres eller trues.
- Det kan ligeledes forventes, at dyr og planter, som er indført via ballastvand eller på anden måde introduceret af mennesket, ved de ændrede klimaforhold kan få forbedrede levevilkår og dermed udgøre en øget konkurrencetrussel for de hjemmehørende arter.
- Endnu en effekt kan være en forskubning af forholdet mellem de trofiske lag, f.eks. forholdet mellem de pelagiske arter, som holder til i de fri vandmasser og de demersale eller bundlevende arter indenfor fiskepopulationer. Højere temperaturer og lavere salinitet vil resultere i længere tids planteplanktonproduktion og derfor favorisere de arter, som græsser på planteplankton, fremfor de demersale arter såsom rødspætte (*Pleuronectes platessa*), tunge (*Solea solea*) og andre fladfisk.

Ligesom for arter i øvrige økosystemer er det de arter, som lever på grænsen af deres udbredelsesområde, som påvirkes mest af klimaændringen. Det vil gælde arter som f.eks. torsk (*Gadus morhua*), brisling (*Sprattus sprattus*) og tunge (MacKenzie & al. 2002).

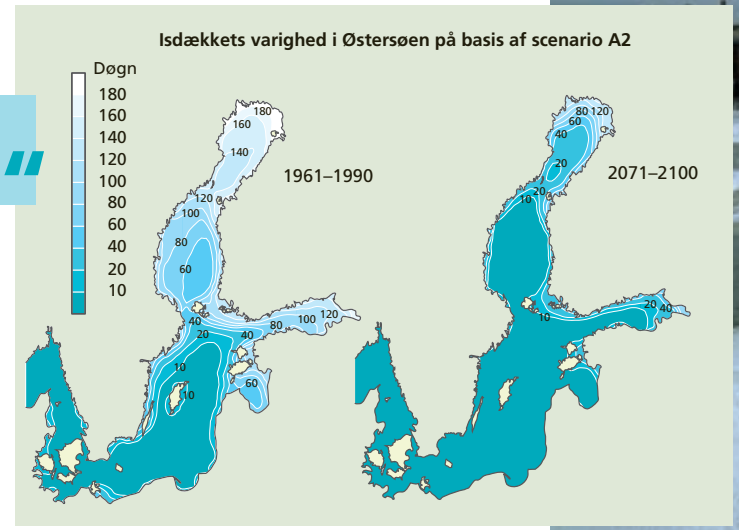
Østersøen

Forholdene i Østersøen er specielt sårbare. En svensk undersøgelse (Graham 2004) gør rede for, hvordan fordelingen af instrømningen fra floder vil ændres. Samtlige scenarier viser en stigning i indstrømning i den nordlige del og en reduktion i den sydlige del af Østersøen. En konsekvensvurdering af denne ændring mht. næringsstofbelastningen er svær. Umiddelbart kunne ændringen have en positiv effekt på næringsstofbalancen, da inflowet fra de sydligere og landbrugstungere dele reduceres, hvorimod stigningen i indstrømningen fra de nordligere og mere tyndt befolkede dele forøges.

Denne effekt kan dog modvirkes, idet temperaturstigningen ligeledes vil medføre øget vinterudvaskning fra landbrugsområderne, derudover kan landbruget få mulighed for at brede sig nord på og dermed ophæve den ovenfor beskrevne reduktion i udvaskning fra landbrugsområderne.

Fremtiden for naturen er således usikker, idet biologiske systemer er komplekse og deres dynamik non-lineær. Dette gør forvaltningen og administrationen af naturens ressourcer vanskelig, men som anført tidligere må man forvalte med et bredt spektrum af mulige udviklinger i klima og natur.

> **Undersøgelser af fremtidens isdække i Østersøen forudsiger nogle dramatiske ændringer.**



Figur 18
Isdække i Østersøen
– i dag og om ca. 70 år
(Efter Bernes 2003).

Den baltiske ringsæl og saimensælen

I Østersøområdet findes to underarter af ringsæl, nemlig den baltiske ringsæl (*Phoca hispida botnica*) og Saimensælen (*Phoca hispida saimensis*), sidstnævnte er endemisk for Saimensøen. Begge arters ynglesucces er afhængig af et stabilt isdække. Undersøgelser af fremtidens isdække i Østersøområdet har vist at isdækket reduceres med 83 % i gennemsnit (figur 18). Det Botniske Bugt, Den Finske Bugt og Rigabugten, samt de ydre dele af den finske skærgård vil generelt set blive isfrit i fremtiden. Det eneste tilbageværende område med passende vinterisdække for ringsælerne vil blive i den nordlige del af Den Botniske Bugt. Dette forhold vil være fatalt for saimensælen og en alvorlig trussel for den baltiske ringsæl (Markus Meier & al. 2004).



Foto: Ole Malling

5 Økosystemernes funktioner



Fotos: Maria Mikkelsen

Gennem erkendelse af de menneskeskabte påvirkninger af biodiversiteten, fremhæves menneskets muligheder for at bevare og opretholde biologisk mangfoldighed. Også i forbindelse med klimaforandringen er dette relevant at se på. En konkretisering og afdækning af relevante redskaber i forhold til en styrkelse af naturens robusthed og elasticitet er en nødvendig forudsætning for arbejdet med at minimere de negative effekter af klimaændringen.

Økosystemers funktioner og ydelser

FN-konventionen om bevarelse af den biologiske mangfoldighed, Biodiversitetskonventionen (CBD) definerer biologisk mangfoldighed/biodiversitet som variationen mellem alle levende organismer, samt de økologiske komplekser de måtte være en del af. Økosystemer tilvejebringer mange ydelser, som er essentielle for menneskets overlevelse og velbefindende. Økosystemers funktioner og ydelser (goods and services) kan klassificeres på flere måder. Det klassifikationssystem, som bruges af The Millenium Ecosystem Assessment (et tværfagligt initiativ under CBD) (Boks sidst i kapitlet).

Økosystemernes vigtighed varierer mellem regionerne, men alle regioner i verden er afhængige af økosystemernes ydelser og funktioner. Ydelserne er vanskelige at prissætte (Costanza & al. 1997), og det er da også kun de færreste af dem, der er prissat. Også de nordiske landes økonomier hviler på økosystemers ydelser, og i sidste ende, den biodiversitet som ligger bag.

Forholdet mellem de forskellige komponenter af biodiversitet og økosystemers funktionalitet er komplekst. Økosystemers funktionalitet kan være yderst sensitiv over-



> **Jo bedre vi forstår, hvordan vi påvirker naturen; jo bedre kan vi kontrollere denne påvirkning.**

for det pågældende systems biodiversitet på visse niveauer, mens det er langt mindre sårbart på andre niveauer eller størrelsesforhold, f.eks. er forholdet mellem artsdiversitet og et økosystems produktivitet stadig et omdiskuteret emne. Udover biodiversitet mellem arter er den genetiske diversitet indenfor en given population afgørende for populationens evolutionære tilpasningsevne, og ultimativt for en effektiv forsyning af et økosystems ydelser. På samme måde er mangfoldigheden indenfor og mellem habitater vigtig for at muliggøre tilpasningsprocesser.

Biodiversitet og økosystemernes robusthed

Undersøgelser har peget på, at intakte, ekstensivt drevne økosystemer med høj biodiversitet er mindre sårbare overfor klimavariationer end biologisk fattige, intensivt drevne produktionssystemer. Med andre ord har økosystemer med høj diversitet og funktionalitet en bedre tilpasningsevne overfor klimaforandring og klimatiske variationer end funktionelt enkle systemer.

Selvom der er en vis enighed blandt eksperterne om, at der er nogle minimumsgrænser for antallet af arter i et velfungerende økosystem og på samme måde, at et større antal arter er essentielt for at opretholde et økosystems stabilitet under skiftende betingelser (Loreau & al. 2001), så er der beviser, der peger på, at biodiversitetens betydning for et økosystems funktionalitet i høj grad er afhængig af en given mangfoldighed indenfor funtionaliteten fremfor det totale antal arter (Chapin & al. 2000). Desuden er det givet, at jo flere funktionelt lignende arter, som findes indenfor et givet økosystem (f.eks. flere forskellige træarter), jo større er sandsynligheden for, at i hvert fald visse af arterne vil overleve.

Robusthed (resistance) og elasticitet (resilience) er to essentielle elementer i økosystemers funktionalitet. Robusthed beskriver et økosystems evne til at modstå forandring, eller systemets kapacitet til at forblive uforandret under forstyrrende omstændigheder. Elasticitet omhandler hastigheden, hvormed et system vender tilbage til dets oprindelige form efter at være blevet forstyrret. Økosystemers overlevelsesevne afhænger af systemernes elasticitet, robusthed og evne til at migrere, når det omgivende miljø forandres. En skov med langsomt



Foto: Ole Malling

Den biologisk mangfoldighed er lav i det intensivt dyrkede landbrugsland.



Foto: Maria Mikkelsen



Foto: Maria Mikkelsen

Genetisk diversitet er afgørende for tilpasningsevnen (øverst).

Opret kobjælde (*Pulsatilla Vulgaris*) (nederst).



Foto: Ole Malling

Konkurrencen om jorden er stigende – her et vejbyggeri...

voksende stresstolerante træer er robust, mens elasticiteten overfor ændringer, f.eks. et ændret vindmønster, kan være lav. I modsætning hertil kan nævnes enge og overdrev med dominans af enårige planter, som har lav robusthed, men til gengæld stor elasticitet.

Den genetiske diversitet kan være af stor betydning for bevarelsen af et givet økosystem og dets mulighed for evolutionær tilpasning. En reduktion af den genetiske diversitet kan føre til instabilitet i forhold til et ændret miljø (Joshi & al. 2001). Grime & al. (2000) redegjorde for, hvordan genetisk homogen urtevegetation tilsyneladende mistede flere arter over tid, end samfund med genetisk heterogene populationer. Afgrøder med høj genetisk diversitet har f.eks. tendens til at være mere modstandsdygtige overfor skadedyr etc.

Menneskeskabte påvirkninger af biodiversitet

Naturen er udsat for mange både menneskeskabte og naturlige trusler, som signifikant forandrer, nedbryder, fragmenterer og omdanner habitater med store tab af biodiversitet og ofte også med et fattigere landskab til følge (Dias & al. 2003).

Omfanget og virkningen af disse trusler varierer regioner og lande imellem. Globalt set er de største trusler habitatødelæggelse pga. konvertering af landareal, samt introducerede invasive arter. Indenfor de nordiske lande varierer trusselsbilledet ligeledes.

I Danmark, det sydlige Sverige og i mindre grad det sydvestlige Finland og Norge, dominerer jordbrugslandskabet. I dette område er mange naturområder (skov, overdrev/tørenge, moser og andre vådområder) fragmenteret eller isoleret, og mange af de til naturområderne knyttede arter er sjældne eller truede. Dertil kommer forstyrrelser i form af bygge- og anlægsarbejder, næringsstofbelastning og forurening.

I store dele af det nordlige Sverige, Finland og Norge er intensiv skovdrift, dræning af vådområder og tilgroning almindeligt, hvorimod bygge- og anlægsarbejde kun foregår stedvist.

Introducerede invasive arter er også i de nordiske lande almindeligt forekommende (Weidema 2000; http://www2.skovognatur.dk/nobanis).

Sala & al. (2000) udviklede scenarier for biodiversiteten for 2100. Scenarierne er bl.a. baseret på ændringen i CO_2-udslippet, klimaet, vegetationen, arealanvendelsen og naturens følsomhed overfor disse foran-



Foto: Peter Brandt

– her råstofudvinding.

dringer. Undersøgelsen pegede på, at ændring i arealanvendelse efterfulgt af klimaændringen vil udgøre den største trussel overfor terrestriske økosystemer, mens det for ferskvandsøkosystemers vedkommende er introduktion af fremmede arter, som vil have størst indflydelse. Forfatterne understreger, at omfanget af effekten på biodiversiteten vil afhænge af interaktioner mellem de forskellige trusler. På den anden side udgør mangelfuld viden om disse mekanismer kilden til den store usikkerhed i forudsigelserne om fremtidens biodiversitet.

Overlevelsesmuligheder i fragmenterede landskaber

Arternes udbredelse i naturlige og fragmenterede landskaber kan analyseres med økologiske modeller som redskaber. Redskaber som f.eks. den biogeografiske ø-teori (the Island biogeographical theory), trædestensmodellen (the stepping stone model) kildedræn modellen (the source-sink model) og teorien om metapopulationsdynamik (the theory on metapopulation dynamics).

Den biogeografiske ø-teori beskriver forholdet mellem en isoleret ø (dvs. et område, som er isoleret af et omgivende ugunstigt miljø) og artsantallet.

Den biogeografiske ø-teori beskæftiger sig også med terrestriske økosystemer i forbindelse med fragmentering af tidligere store sammenhængende naturområder. Denne model er blevet brugt til f.eks. at beregne antallet af arter, som er forsvundet som konsekvens af skovrydning i troperne (e.g. Groombridge 1992). I den sydlige del af Norden ligger skovene ofte som isole-



Foto: Ole Malling

De naturgivne forudsætninger anes stadig i det intensivt drevne land.



Foto: Ole Malling

Et fragmenteret landskab.

> **En reduktion af et givet naturområde til en tiendedel vil halvere antallet af arter i det givne område.**

Forholdet mellem areal og artsantal

Generelt gælder det, at antallet af arter stiger med areal/arts ligningen $S=cA^z$, hvor A er arealet, og S er artsantallet. C og Z er konstanter, som er afhængige af f.eks., hvilke organismegrupper, det drejer sig om. En faktor 10 forøgelse af arealet (= mængden af tilgængelige ressourcer) vil f.eks. fordoble artsantallet.

rede øer i et hav af landbrugsland eller byer. I den nordlige del af Norden er den gamle artsrige skov omgivet af intensivt drevet produktionsskov. I begge tilfælde er størrelse og spredningsmuligheder vigtig for arter med specielle krav til skovhabitaten. (e.g. Virkkala & al. 1994).

En anden model for arters spredning er den såkaldte **stepping stone model** (Kimura & Weiss 1964), som ligger tæt op ad den biogeografiske ø-teori. I stepping stone modellen forudsættes, at arter kun migrerer til det nærmeste velegnede habitat, mens den biogeografiske ø-teori antager, at arter migrerer uhindret mellem alle tilgængelige habitater. Stepping stone modellen anvendes ofte indenfor genetik for at forklare spredningsmønstre udfra genetiske forskelle mellem populationer.

I følge **kildedræn modellen** (source-sink) er kilder demografisk overlevelsesdygtige subpopulationer, af en given art, hvor dræn er subpopulationer, som uden indvandring fra kilderne vil forsvinde. Bevarelsen af kildepopulationer er afgørende.

En tredie model beskriver **metapopulationsdynamikken**. En metapopulation er en samling lokale populationer af en given art, som udveksler gener via individer, som bevæger sig mellem populationerne (Hanski & Gilpin 1997, Hanski 1998). Fragmenteringen af habitater er måske baggrunden for udviklingen af metapopulationsstrukturen. I en metapopulation er der en dynamisk udvikling, hvor delpopulationer uddør og andre områder rekoloniseres.

Fælles for økologiske teorier og modeller er forudsigelsen af **kritiske tærskelværdier**, som angiver, hvornår en tilstand bliver irriversibel.

En arts overlevelsespotentiale er bl.a. afhængig af artens spredningskapacitet, dvs. individernes evne til at finde og slå sig ned i det område, hvor overlevelseschancernes og ynglemulighederne er størst.



Foto: Maria Mikkelsen

Vandløb er gode spredningskorridorer.



Foto: Ole Malling

En monokultur i form af en hvedemark.

I en menneskepåvirket verden, er naturlige eller seminaturlige økosystemer omgivet af landskaber uegnet som levested. Populationer af arter, som er begrænset til disse habitater, er derfor fysisk adskilte. Ofte viser denne slags populationer karaktertræk af metapopulationstruktur, som er en indikator for en moderat grad af fragmentering (Opdam & Wascher 2004). Opdam & Wascher (2004) konkluderer, at integrationen af metapopulationer i relation til klimaforandring demonstrerer, at fragmenteringen mangedobler effekten af klimaforandringen gennem en række forskellige mekanismer. Fragmentering foranlediger bestandsnedgang og uddøen, tab af genetisk diversitet etc. Effekter af voldsomme forstyrrelser er større i fragmenterede landskaber, resulterende i midlertidig uddøen på regionalt niveau. Mindre densitet og lavere andel af beboede habitater forringer populationens elasticitet overfor forstyrrelser, herunder klimaforandringer. Fragmenteret landskab kan blokere populationens tilpasning til en klimaforandring ved at hindre spredningen til bedre egnede levesteder og derved resultere i lokal uddøen (Opdam & Washer 2004).



Nogle forskere peger på, at fragmenteringen af levesteder mangedobler effekten af klimaforandringen.

Især i et fragmenteret landskab er der behov for ekstra opmærksomhed omkring arealudnyttelse og dyrkningsmetoder af matricen for at styrke forbindelserne mellem habitater. F.eks. kunne en mere ekstensiv brug af skove og vådområder på landskabsniveau være med til at sikre spredningsmulighederne mellem værdifulde naturområder.



Foto: Maria Mikkelsen

En af naturens ydelser – rekreation.

Økosystemers mange funktioner

- **Støttefunktioner** (funktioner som vedligeholder jordens livsfunktioner): Jorddannelse og tilbageholdelse; næringsstofcirkulation; primær produktion; pollinering og frøspredning; iltproduktion; forsyning af levesteder
- **Reguleringsmekanismer** (goder opnået fra regulering og vedligeholdelse af økosystem-processer): Luftrensning; klimaregulering; vandbalance; oversvømmelseskontrol; erosionskontrol; vandrensning; affaldshåndtering; afgiftning; human sygdomskontrol; biologisk kontrol af jordbrug- og kvægsygdomme; storm beskyttelse/vinddæmpning
- **Produkter** (produkter fra økosystemer): Mad; brænde; fiber; biokemiske stoffer; naturmedicin; medicinalvarer; genressourcer; ornamental ressourcer; ferskvand; mineraler; sand mv.
- **Kulturydelser** (ikke-materielle goder fra økosystemer): kulturdiversitet og identitet; spirituelle og religiøse værdier; viden systemer; uddannelsesværdier; inspiration; æstetiske værdier; sociale relationer; kulturarv; rekreation og økoturisme mv.

(Millenium Ecosystem Assessment 2003)

6 Guidelines og anbefalinger

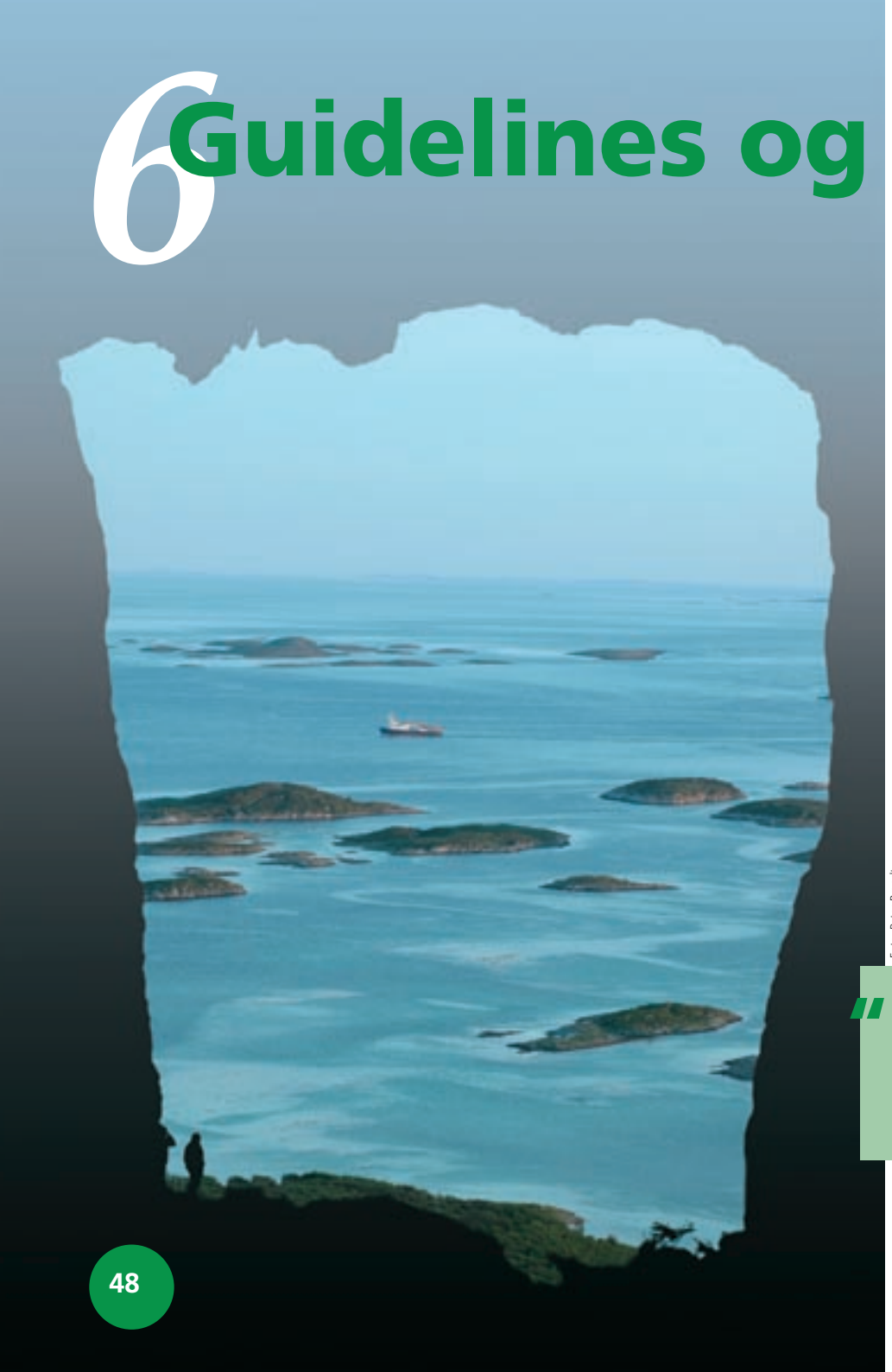


Foto: Peter Brandt

Udsigten fra Torghatten, Brønnøysund.

En midlertidig ekspertgruppe under biodiversitetskonventionen om biodiversitet og klima, AHTEG (Ad Hoc Technical Expert Group 2003), identificerede i 2003 forskellige tilpasningsmuligheder for at reducere negative effekter af klimaforandringen på biodiversiteten. Tilpasningsmulighederne inkluderer aktiviteter, hvis målsætning er at bevare og genoprette oprindelige økosystemer, forvalte habitater for sjældne og truede arter, samt beskytte økosystemers funktioner og ydelser.

Naturens funktioner og ydelser er mange og af omfattende betydning for menneskets fortsatte eksistens. Samtidig er presset på naturens mangfoldighed stort. Klimaændringen, hvis effekter er uforudsigelige i forhold til feedbackmekanismer, koblede mekanismer og synergieffekter påvirkningerne imellem, har øget presset. Klimaeffekterne på naturen omfatter, som omtalt i kapitel 4, bl.a. ubalance i økosystemer, indvandring af nye arter, forbedrede leveforhold for tidligere introducerede arter, øget erosion, match/mismatch, øget frigivelse af næringsstoffer mv.

Internationale konventioner og direktiver som Biodiversitetskonventionen, EF-Habitatdirektivet, Bonn og Bern konventionerne m.fl. forpligter de underskrivende lande direkte til at beskytte og bevare udpegede arter og naturtyper, samt indirekte til at forholde sig til klimaændringen og dens effekter. Spørgsmålet er, hvordan og i hvilken grad landene skal forholde sig til, dæmpe (mitigate), tilpasse sig og planlægge for eventuelt kommende effekter af klimaforandringen (Meir & al. 2004).

Det kan bl.a. blive nødvendigt i højere grad at prioritere en klimaintegreret forvaltning af naturen og dens ressourcer, som støtter naturens robusthed, elasticitet og dynamiske udvikling. Dette vil indebære en række tilpasninger indenfor arbejdet med:

- Videnoparbejdning og udvikling
- Udpegning af større naturområder
- Sikring af spredningskorridorer
- Artsforvaltning
- Minimering af øvrige stressfaktorer
- Tilpasning af praksis indenfor relevante erhverv
- Lovgrundlag og støtteordninger
- Regionalt samarbejde

> **Der er mange muligheder for at reducere negative effekter af klimaforandringen i naturen.**

Handlemuligheder

En række økonomer mener, at man med usikkerheden i den klimatiske udvikling bør planlægge langsigtet og fleksibelt indenfor især investeringer i bygge- og anlægsarbejder, hvis levetid rækker langt ind i fremtiden. Således skal nye anlæg kunne fungere såvel under et bredt spektrum af klimaforhold, som under ekstreme vejrsituationer (Tol & al. 1998).

På naturområdet gælder det samme. Vi skal handle fornuftigt gennem optimering af naturens robusthed, tilpasningsevne og elasticitet overfor såvel den gradvise klimaændring, som ekstreme vejrsituationer. Dette gøres dels ved at minimere presset fra de øvrige stressfaktorer naturen er genstand for, dels ved at sikre den nuværende biologisk mangfoldighed (Wuetrich 2000), gennem øget integrering af naturhensyn i gældende administration og lovgivning og ved helt konkret at sikre flora og faunas spredningsmuligheder under et klima i forandring.

Tilpasningsstrategier

Ovennævnte prioritering og justering hører under kategorien proaktiv tilpasning (planned adaptation) (Carter & al. 2003). Udover proaktiv tilpasning opererer man med en anden type tilpasning, kaldet reaktiv tilpasning. Reaktiv tilpasning beskriver den form for tilpasning, som foregår *ad hoc* efterhånden som uforudsete klimaeffekter viser sig.

Et eksempel på proaktiv tilpasning kontra reaktiv tilpasning kunne være at sikre spredningskorridorer mellem naturområder, så dyr og planter gennem migration bevarer så meget genetisk variation som muligt og dermed forbedret mulighed for klimatilpasning.

Den tilsvarende reaktive tilpasning ville være at flytte den sidste rest af en bestand af en given art til et bedre egnet levested eller til bevarelse *ex situ*. Den proaktive tilpasning kan direkte reducere de negative følger af klimaforandringen, hvor effektiviteten ved den reaktive tilpasning kan synes mere usikker.

I lyset af en mulig vandstandsstigning, som vil have voldsomme følger specielt i ekstremvejrsituationer, ville et andet eksempel på proaktiv tilpasning være at friholde kystzonen til migrering af økosystemer eller som bufferzone for en mulig vandstandsstigning (Fankhauser 1999).



Foto: Maria Mikkelsen

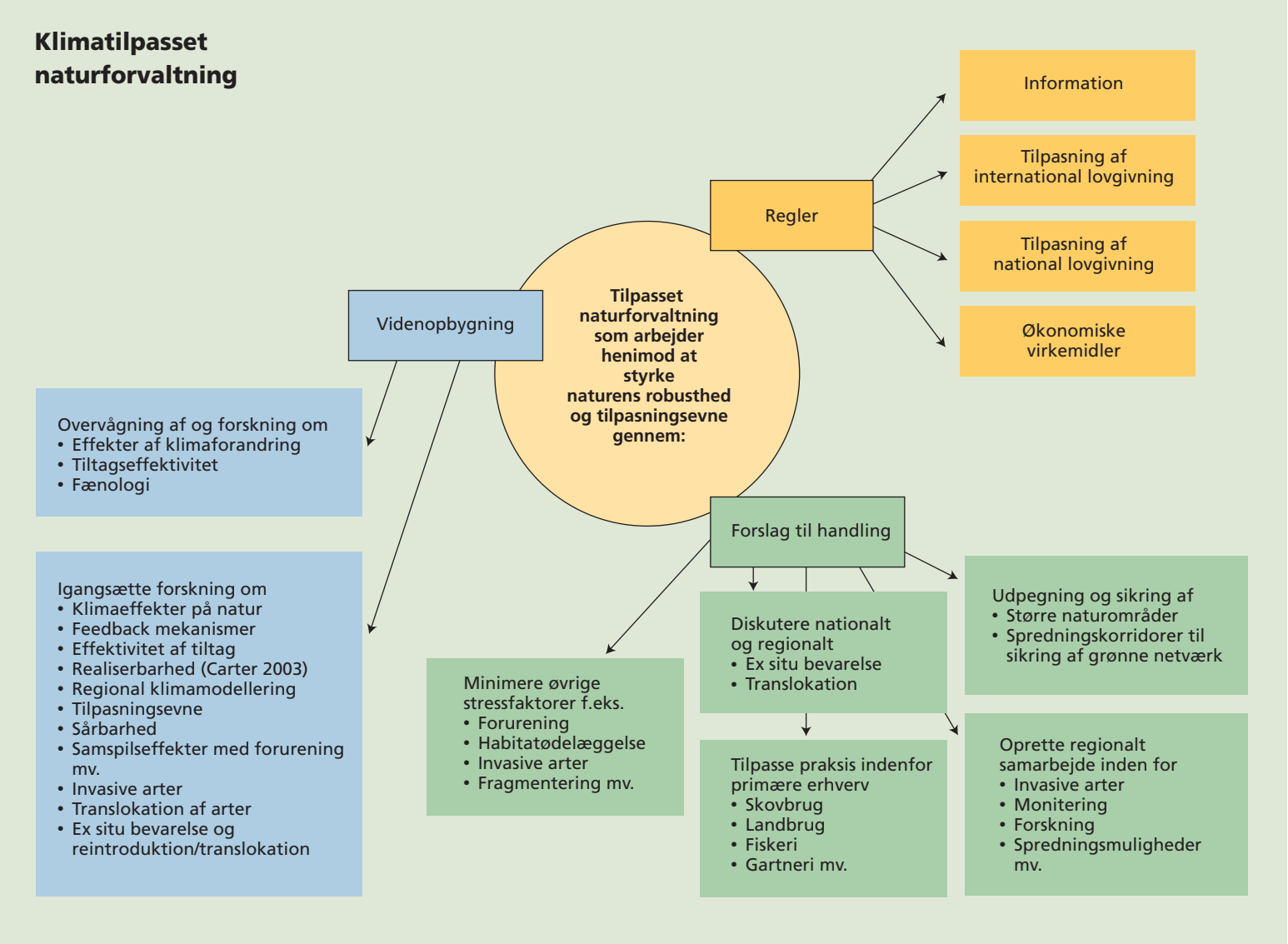
Strandenge er specielt udsatte over for vandstandsstigninger og ekstremvejr.



Foto: Morten Hildan

"Nye anlæg skal kunne fungere under et bredt spektrum af klimaforhold og ekstremvejr."

Figur 19
Muligheder for klimatilpasning indenfor naturforvaltnings-området og de primære erhverv – herunder forsknings-tiltag, tilpasning af praksis, lovgivningsarbejdet mv.



Proaktiv tilpasning

Figur 19 illustrerer en række muligheder for tilpasning til klimaforandringen gennem en direkte og indirekte styrkelse af naturen. Tiltagene er rettet imod naturforvaltere, areal- og ressourceforvaltere og politikere. Det skal nævnes, at for langt de fleste tiltags vedkommende er der behov for mere viden om effektivitet, pris og realiserbarhed i forbindelse med en prioritering af tiltagene (Carter & al. 2003). Dette ressourcekrævende arbejde ligger dog som nævnt tidligere udenfor denne rapports rammer. Tiltagene på figur 19 skal ses som et oplæg til et idékatalog til en højere grad af klimaintegreret natur- og ressourceforvaltning.

Tiltagene er kategoriseret efter hvilken type tiltag det drejer sig om:

- **Videnoparbejdning og udvikling** som bl.a. følger klimaudvikling og klimaeffekter er med til at sikre øvrige tiltags relevans, aktualitet og effektivitet.
- Forslag til **adfærd og handlinger** som direkte og/eller indirekte styrker naturens elasticitet, robusthed og tilpasningsevne.
- Tilpasning af **lovgrundlag og støtteordninger** som gennem forbud og påbud regulerer adfærd, som kan være uønsket eller ønsket i forhold til tilpasning til klimaændringens effekter på naturen.
- Etablering af **regionalt samarbejde** til videreudvikling og koordinering af indsatsen som udnytter mulige synergieffekter landene imellem og sikrer regional koordinering mht. analyse af nationale og regionale tiltag mv.

Videnoparbejdning og udvikling

Viden kan forbedre tilpasningstiltag ved at præsentere så gode og sikre forudsigelser om klimaændringen og dens effekter som muligt, men også gennem udvikling og test af tilpasningstiltag og evt. teknologi (Fankhauser 1999). Derudover er det afgørende for tilpasningstiltagenes effektivitet, at de kan efterprøves (Pullin & al. 2004). Dette kan ikke gøres optimalt, idet forudsætningerne ændres i det øjeblik tiltaget sættes ind, men tidsserier af data er hér afgørende. Det kræver relevante indikatorer både mht. længden af tidsserien og klimaeffektfølsomheden. De lange tidsserier er ligeledes en grundlæggende forudsætning for at drive analoge studier af effekter af klimaændringer, dvs. studier af tidligere tiders klimatiske udvikling for at kunne forudsige fremtidige ændringer (Næss & al. 2004). Der er behov for øget viden indenfor økosystemers respons på klimaændringer, specielt havet (Richardson & Schoeman 2004). Herunder er det vigtigt at identificere klimasensitive nøglefunktioner og indikatorer, hvilken effekt klimaændringen har på dem, økosystemernes funktionalitet, dynamik og struktur. Derudover er der bl.a. behov for viden om:

- Klimaændringens samspil med øvrige stressfaktorer på naturen
- Dynamikken i potentielt invasive og invasive arter (Dukes & Mooney 1999)
- Økosystemers funktionalitet
- Spredningskorridorers form og funktion
- Konsekvenser af translokation af arter
- Invasive arters økonomiske betydning og begrænsning
- Udvalgte enkeltarters sårbarhed overfor klimaændringer
- Udvikling af sårbarhedsindeks/tålegrænser for økosystemer, arter og genressourcerne
- Arters populationsdynamik og spredningsbiologi
- "Naturmæssige" ørkenregioner uden spredningsmuligheder
- Løsningsmuligheder og værktøjer til politikere og interessenter til oparbejdelse af et multifunktionelt landskab (Opdam & Wascher 2004)

"Tidsserier er afgørende for vurdering og analyse af tilpasningstiltag."

Klimaforandringen udfordrer forskere og andre til at tænke nyt.



Foto: Maria Mikkelsen

Udpegning af større levesteder

Nationalparker, naturbeskyttelsesområder og naturreservater med faste administrative grænser er de traditionelle nøgleredskaber til bevaring og beskyttelse af naturen. Med klimaforandringen påvirkes den geografiske udbredelse løbende for mange arter og økosystemer og dermed også områdernes værdi som sikring af arternes bestående (Burns & al. 2003; Rodrigues & Gaston 2001).

Naturområdernes størrelse og udbredelse bør derfor diskuteres i lyset af den forandring klimaændringen vil medføre. IUCN (The World Conservation Union) har anbefalet, at 10% af et lands areal bør forvaltes som naturbeskyttelsesområde. Kun få lande har fulgt denne anbefaling, som klimaforandringen har aktualiseret yderligere (Kramer & al. 1997). Et element som ydermere skal overvejes i forbindelse med artsbevarelse gennem beskyttelse af arters levested/naturområder er, at klimaforandringen kan efterlade levestedet uegnet til den givne art. Dette ændrer forudsigeligheden af den traditionelle naturbeskyttelsestanke og stiller krav om en langt mere dynamisk og reflekterende naturbeskyttelse.

> **Klimaforandringen stiller krav om en langt mere dynamisk og reflekterende naturbeskyttelse.**

Ved udvikling af naturreservater og tiltag for lokal og/eller regional naturbevarelse, er der tre hovedelementer, der bør overvejes:

- Tilstrækkeligt tæt netværk af reservater, fordelt langs de vigtigste naturgeografiske gradienter – ikke mindst klimagradienterne
- Reservater, der er så store at klimagradienterne er bedst muligt repræsenteret indenfor området, dette vil især være relevant og muligt i områder med skarpe højdegradienter, som i Vest- og Nordnorge
- Spredningsmuligheder på langs af klimagradienterne mellem reservaterne



Foto: Peter Brandt

Netværk af naturområder langs de vigtigste naturgeografiske gradienter er med til at sikre arternes spredningsmuligheder i landskabet.

Sikring af spredningskorridorer

For at flora og fauna kan tilpasse sig en klimaforandring i et fragmenteret landskab ved migrering til et mere velegnet habitat – hvilket i forhistorisk tid har været en for planterne almindelig reaktion på klimaforandringer (Bradshaw & McNeilly 1991) – kræves som tidligere nævnt spredningsmuligheder på langs af klimagradienter (CBD report no. 10). Disse spredningsmuligheder forekommer ofte i form af spredningskorridorer, som forbinder to levesteder med hinanden eller i form af trædesten/stepping stones som gør det muligt for individer at sprede sig til nye levesteder. Diverse dyr og planter stiller forskellige krav til disse trædesten/stepping stones eller spredningskorriderer alt efter spredningsevne og biologi (jf. teorien om ø-biogeografi). Efterhånden som vilkårene ændrer sig gennem klimaændring og/eller ekstremvejr situationer i et givet habitat, er en af de bedste overlevelsesmuligheder for de givne dyr og planter, at der er spredningsmuligheder. Dette kunne være i form af konkrete spredningskorridorer, stepping stones eller ved at optimere matricen/det mellemliggende land som spredningsflade. Ved at matricen bruges med størst muligt hensyn til biodiversiteten, kombineres hensynet til biodiversiteten med behovet for det åbne land som dyrkbar jord, skovrejsningsområde eller bebyggelse. (Opdam & Wascher 2004; Hannah & al. 2002).

Spredningskorridorer af forskellig art og størrelse, som forbinder naturområderne, styrker ligeledes naturens tilpasningsevne gennem udvekslingen af gener og dermed bevarelsen af et bredt genetisk grundlag for en evolutionær tilpasning. Det er imidlertid ikke klart, hvordan spredningskorridorer skal udformes, idet de forskellige arter stiller meget forskellige krav til en spredningskorridor for et gøre brug af den (Haddah & al. 2003).

Marginale jorder som vådområder, fugtige områder i ådale og forskellige lavtliggende områder kan med fordel inddrages som spredningskorridorer. Disse områder er dels potentielt biodiversitetsrige områder, dels en betydelig kilde til CO_2-udledning i forbindelse med dræning af jorden og dels omkostningstunge at bevare i omdrift. Dermed opfylder en sådan handling både behovet for spredning og en reduktion af CO_2-udslippet.



Foto: Maria Mikkelsen

Det er blevet langt sværere for eghjorten at sprede sig i et moderne landskab med store afstande mellem de gamle egetræer – hér en mulig undtagelse med mange gamle egetræer i Dyrehaven nord for København.

Isoleret art uanset klimaændring

Eghjorten (*Lucanus cervus*) var tidligere udbredt i Danmark og Sydsverige. Eghjortens larve lever i gammel eg eller bøg. Larverne lever 5 år i træet, hvorefter de forpupper sig under forvandlingen til de voksne dyr. Den voksne han kan blive op til 9 cm lang og hunnen omkring 5 cm lang. Disse imponerende biller lever kun omkring en måned og når i løbet af denne korte periode at videreføre arten, ved at lægge befrugtede æg i gamle ege- eller bøgetræer.

Eghjorten er i dag forsvundet fra Danmark. I Sydsverige findes kun enkelte spredte populationer tilbage. Årsagen til artens tilbagegang i regionen er, at gammel eg og bøg er blevet mere og mere sjælden i skov og landskab, og at arealer med løvskov igennem de sidste århundreder er gået tilbage til fordel for nåletræ.



Foto: Maria Mikkelsen

Skulle eghjorten igen kunne etablere sig i de egnede levesteder, der langsomt genetableres i Danmark og Sydsverige skulle det ske enten fra det begrænsede antal populationer, der endnu er i Sverige eller fra populationer i skovene syd for Hamburg i Tyskland. Eghjorten er på grund af sin størrelse og korte levetid som voksen dog ikke i stand til at sprede sig langt fra det træ, hvor den levede i larvestadiet. Det betyder, at selvom en klimaændring skulle begunstige eghjortens overlevelse i de egnede lokaliteter vil det næppe føre til at arten vil blive spredt til alle de egnede levesteder, der er i området, alene fordi disse i dag er så små og spredt beliggende at eghjorten ikke har en chance for at finde dem.

Eghjorten er således et eksempel på en art, der på grund af spredningsmæssige begrænsninger ikke vil være istand til at genindvandre til egnede levesteder i det tidligere udbredelsesområde uanset, at klimaet måtte begunstige artens overlevelse og reproduktion. Hvis levestederne lå så tæt, at eghjorten kunne spredes mellem dem, ville arten på sigt kunne blive spredt over hele regionen.

Artsforvaltning

Translokation af arter

Et konkret værktøj i forbindelse med spredning af arter er at flytte rundt på dem, en såkaldt translokation. Tidligere har der været en vis tilbageholdenhed med at benytte dette redskab, idet konsekvenserne er svære at forudsige og styre. Således kan det oprindelige ønske ved at translokere en given art få helt andre og vidtrækkende konsekvenser end det oprindelige ønske. Og dette gør sig stadig gældende.

Med klimaforandringens hastige og uforudsigelige effekt kan det at translokere arter med henblik på at bevare en given art eller endda et helt økosystem måske blive nødvendigt og det er derfor vigtigt, at man har taget stilling til dette. Et eksempel er dagsommerfuglen mnemosyne (*Parnassius mnemosyne*), hvis hovedudbredelse er de store skovområder i den nemorale zone (skovområde) i Tyskland og Holland. En zone som sandsynligvis bliver reduceret betydeligt i omfang. Mnemosynen vil dermed blive truet og dens klimazone vil formodentlig rykke nordpå til Danmark og det sydlige Sverige. Hér kunne en mulighed være at flytte sommerfugle fra den sydlige udbredelse til velegnede levesteder nord på. Dette vil i givet fald kræve et forberedende arbejde omkring overvågning før/under og efter translokationen, regionalt samarbejde og en substantiel viden omkring klimaudviklingen mv.

Dette felt er noget kontroversielt og har ikke indenfor biologi og naturbeskyttelse været velset. Det nævnes hér, fordi klimaforandringen er en stressfaktor, som med sin hastighed kan kræve utraditionelle metoder og diskussion af gamle dogmer. Med andre ord vil rapporten hér pege på nødvendigheden af at afsøge og diskutere alle muligheder førend de udelukkes, uden ukritisk at anbefale translokation af arter som løsning på et problem i forbindelse med klimatilpasning.

Introduktion af nye arter

De planter og dyr, der i dag findes i Norden, kan deles i to grupper, nemlig de der er indvandret, og de der er bragt hertil af mennesker. De arter, der er indvandret, kaldes også hjemmehørende arter. De arter, der er bragt hertil af mennesker, kaldes under et for introducerede arter.

Enkelte af de introducerede arter kan volde skade, enten ved at fortrænge de planter og dyr, der er oprindeligt hjemmehørende og/eller ved at have store økonomiske konsekvenser for samfundet og borgerne.

Mnemosyne sommerfuglens levesteder vil med klimaforandringen formentlig blive reduceret betydeligt.



Foto: Ole Andersen



Foto: Maria Mikkelsen



Foto: Maria Mikkelsen

To eksempler på introducerede, invasive arter i Norden – rynket rose (*Rosa rugosa*), som stammer fra Fjernøsten (t.v.) og den iberiske skovsnegl, som er kommet hertil i løbet af de sidste 10-15 år (t.h.)

Introduktion af nye arter er sket stort set så længe, der har levet mennesker i Norden, men sker i dag med større hastighed end tidligere bl.a på grund af den øgede internationale handel og transport. Det betyder, at der introduceres mange planter og dyr til Norden, heraf mange som ikke vil være i stand til at overleve hér i flere generationer på grund af de nuværende klimatiske forhold. Generelt regner man i dag med, at 1% af de introducerede arter bliver problematiske. Det er ikke muligt at sige, hvilke introducerede arter, der kan forventes at blive begunstiget af en klimaændring.

Historien har vist os, at en introduceret art godt kan have været tilstede i et område i meget lang tid før den pludselig nærmest eksploderer i antal. Et eksempel på dette er kæmpebjørneklo (*Heracleum mantegazzianum*), som havde været i Danmark omkring 100 år, før den begyndte at spredes voldsomt. Andre arter, som f.eks. den Iberiske skovsnegl (*Arion lusitanicus*) er i Norden spredt til meget store områder indenfor få år og er stadig under spredning. Med en klimaændring i retning af højere temperaturer og deraf følgende længere vækstsæson og ubalance i økosystemerne, må det forventes, at flere af de introducerede arter fremover vil kunne etablere sig i Norden og dermed også påvirke Nordens natur.

Minimering af øvrige stressfaktorer

En generel betragtning er at organismers tilpasningsevne og robusthed kan ses som et resultat af det samlede stressbillede. Mennesker er mere eller mindre modtagelige overfor sygdomme bl.a. afhængig af vores almentilstand. På tilsvarende måde fungerer naturens økosystemer. F.eks. lever og yngler en art vandkalv (*Dysticidae*) i næringsbelastede søer i dets centrale udbredelsesområde, hvorimod den i Danmark, som ligger på dens nordligste udbredelsesgrænse, er meget følsom overfor diverse stressfaktorer (Holmen pers. com.). Dette angiver betydningen af at minimere de øvrige stressfaktorer når naturens robusthed og tilpasningsevne ønskes styret.

"Der bruges mere end 20 mill. DKK og flere end 25 mandeår på bekæmpelse af kæmpebjørnekloen i Danmark pr. år"

Den flotte, men invasive kæmpebjørneklo.



Foto: Maria Mikkeolsen



Foto: Highlight



Foto: Highlight

Fiskeri og landbrug er eksempler på erhverv, som begge kan integrere klimatilpasning – formodentlig til gavn for både natur og erhverv.

Tilpasning af praksis indenfor relevante erhverv

Det er hensigtsmæssigt at tilpasse praksis indenfor de primære erhverv, som jordbrug, skovbrug, gartneri og fiskeri således at både erhverv og natur bevares. I jordbruget vil der sandsynligvis umiddelbart blive behov for øget pesticidforbrug til bekæmpelse af skadedyr og ukrudt pga. længere vækstsæson, nye skadedyrsarter, nye dyrkningsafgrøder mv. I fiskerierhvervet vil der være behov for at skifte til fangst af andre arter og muligvis også ændre redskaber og fiskerisæson. I skovbruget vil der måske være behov for en øget mekanisk bortrensning af uønsket vegetation, både pga. større spredning, flere skadedyr og andre dyrkningsafgrøder (MICE 2004).

Før sådanne klimabetingede ændringer iværksættes bør man huske, at de omtalte erhverv er afhængige af, at naturen fortsat kan tilpasse sig ændringerne. Således må det også være i erhvervenes interesse at tilpasse praksis til et klima i ændring under hensyntagen til biodiversiteten og naturen som funktionel basis.

Skovbruget er et erhverv, som udviser stor opmærksomhed omkring klimatilpasning. Erhvervet er allerede i gang med at indarbejde klimaforandringens mulige effekter i planlægningen af skovdriften. En undersøgelse fra 1999 viser f.eks. at 11% af de private (ikke industrielle) skovejere i Sydsverige har ændret deres skovdrift i forventning om et ændret klima (Blennow & Sallnäs 2002). I Danmark er klimaforandringens effekter indarbejdet i en statslig skovstrategi med henblik på en mere robust og rentabel skov (Skov- og Naturstyrelsen 2005).

Lovgrundlag og støtteordninger

I Norge er der udarbejdet et forslag til en ny lov om naturbeskyttelse, kaldet "Lov om bevaring af natur, landskap og biologisk mangfold" (NOU 28:2004). Dette lovforslag er nu i høring. Loven vil erstatte den nuværende naturbeskyttelseslov, dele af vildtloven og lakse- og indlandsfiskeriloven, men har et meget bredere sigte og omfatter brug af al slags natur. Loven vil, såfremt den vedtages, blive et bedre virkemiddel end den tidligere lov for forvaltning af natur i ændring, herunder ændringer, som er betinget af klimaændringer (Hessen 2005).

Et andet eksempel, hvor revision af lovgivningen på baggrund af klimaeffekter kan blive aktuel, er EU's habitatdirektiv (92/43/EØF). Efter direktivets artikel 6, stk. 2, skal medlemsstaterne "træffe passende foranstaltninger for at undgå forringelser af naturtyperne og levestederne for arterne i de særlige bevaringsområder." Efter direktivets formål skal medlemslandene endvidere sikre eller genoprette en gunstig bevaringsstatus for de arter og naturtyper, som skal beskyttes efter direktivet. Tilsvarende forpligtelser gælder for beskyttelse af vilde fugle efter EU's fuglebeskyttelsesdirektiv (79/409/EØF). Klimaforandringens påvirkning af naturen kan vanskeliggøre dette sigte, og kan få betydning for såvel mål, som midler i gennemførelsen af direktiverne. Medlemslandene og Kommissionen er opmærksom på dette spørgsmål, som forventes at blive taget op til drøftelse i nær fremtid.

Også kravene til diverse nationale VVM-redegørelser/miljøkonsekvensvurderinger kan det være nødvendigt at tilpasse. Hér er det ikke kun miljøkonsekvenserne i den nuværende situation, som er relevante at belyse, også virkninger under et ændret klima bør komme frem i de tilfælde, hvor anlægget eller tiltaget rækker langt ind i fremtiden. Nationalt foreslås et udredningsarbejde over relevante love, bekendtgørelser og lignende, hvor hensynet til mulige klimaeffekter er nødvendige at integrere for den pågældende lovs eller bekendtgørelses målopfyldelse. Dette ses som første skridt på vejen til en relevant integrering af klimaeffekter i love og lignende styringsredskaber.

Dæmpende foranstaltninger

Dæmpende foranstaltninger (mitigation activities) dækker aktiviteter hvis mål er at reducere mængden af drivhusgasser i atmosfæren. Det kan f.eks. ske gennem påvirkning af en given adfærd, udvikling af renere teknologi (Clean Developement, CDM) eller ved at skabe såkaldte dræn (sinks), som optager CO_2. I forbindelse med sådanne ofte meget omfattende og dyre initiativer er det vigtigt, at initiativerne tager højde for den natur- og miljømæssige virkning af et givet initiativ. For på denne baggrund at sikre bevarelsen af naturen og en bæredygtig anvendelse heraf, er det derfor vigtigt at identificere de politiske initiativer og støtteprogrammer, som genererer disse uheldige effekter, og overveje fjernelsen af disse eller forsøge på anden vis at dæmpe disse effekter.

Således skal der gennem samarbejde mellem diverse projekter indenfor dæmpende foranstaltninger af forskellig art sikres, at tiltag og aktiviteter går hånd i hånd, således at der opnås synergieffekter, og at man som minimum ikke modarbejder øvrige konventioners mål.

Et eksempel på en dæmpende foranstaltning med en utilsigtet negativ naturmæssig effekt er, når moser eller andre naturområder tilplantes med hurtigvoksende skov for at skabe et såkaldt CO_2-dræn. Tilplantning af en brakmark vil f.eks. ikke på samme måde have en skadelig bivirkning på naturen.

"Klimatilpasning og naturhensyn bør gå hånd i hånd – også indenfor støtteordninger, dæmpende foranstaltninger og lignende."

Fra nål til løv efter stormfald

Efter det store stormfald i december 1999, som ramte det sydlige Sverige og Danmark, fik de private skovejere i Sverige økonomisk hjælp til at plante løv, dér hvor der tidligere stod nål. Dette var med til at vende udviklingen fra en mere eller mindre nåledomineret skov hen imod en mere løvpræget og åben skov, som tidligere havde eksisteret i området. Således var udnyttelsen af en uforudset ekstrem-hændelse – som en kraftig storm – med til at styrke natur og biodiversitet knyttet til den for området oprindelige skovtype, nemlig løvskov.



Foto: Peter Brandt

Der er endnu ikke ryddet op efter den sidste hundredeårsstorm i januar 2005.



Foto: Maria Mikkelsen

> **Mulighederne for at koble støtteordninger med klimatilpasning er oplagte.**

Støtteordninger

En stor del af de primære erhverv indenfor de nordiske EU-lande får økonomisk støtte. Med disse støttekroner er der visse kriterier der skal opfyldes, men p.t. er der ingen af disse som har et integreret klimaeffektshensyn indbygget i sig. Hér er der en oplagt mulighed for at gennemgå diverse støtteordninger i et regionalt samarbejde indenfor f.eks. Nordisk Ministerråd, og udpege områder hvor man med fordel kan indarbejde hensyn til naturens tilpasningsevne og styrke ved f.eks. at stille krav om dyrknings- og sprøjtefri zoner langs f.eks. vandløb, naturreservater, veje, stier, fortidsminder mv. Zoner som allerede findes visse steder i dag, men som bør udvides og sikres.

Regionalt samarbejde

Mange af de ovennævnte redskaber kan med fordel koordineres eller foregå i et regionalt samarbejde. F.eks.:

- Udarbejdelse af en regional klimamodel som grundlag for forudsigelser og planlagte tiltag
- Udarbejdelse af relevante klimaindikatorer og efterfølgende overvågning
- Analyse af og opfølgning på diverse tiltag i forbindelse med tilpasning herunder forebyggelse og bekæmpelse af invasive arter, opstilling af forsøg og opfølgning på dette, translokation af arter mv.

Klimaforandringen og klimaeffekterne er globale, regionale og lokale og bør løses på tilsvarende niveauer (Hannah & al. 2002).

Et eksempel på et regionalt samarbejde foregår mellem Rusland og Finland og kaldes "Fennoscandinavian Green Belt". Projektet omfatter udviklingen af adskillige grænseoverskridende naturreservater på begge sider af den finsk-russiske grænse. Perlerækken af naturområder skal på sigt dække hele spektret af biogeografiske zoner fra skærgården i Den Finske Bugt og Ladogasøen gennem den boreale zone op til den subarktiske region. Bæltet, som dækker over 1 mio. ha, vil udgøre fundamentet i beskyttelsen af Fennoskandinaviens boreale natur og være af stor værdi ikke mindst ud fra et klimatilpasningssynspunkt. Et andet eksempel er det finsk-norske samarbejde om Vesteuropas største naturområde "Övre Anarjokka–Lemmenjoki". Den slags grænseoverskridende regionale initiativer skal fremmes, ligesom forvaltningen og driften af matricen bør foregå efter landskabsøkologiske principper, således at gode forbindelser mellem naturområder sikres.



Foto: Magnus Fröderberg

Regionalt samarbejde – Nordisk Råds session i Stockholm 2004.

Konklusion

På baggrund af klimaændringens eksisterende og mulige effekter, foreslås en række overordnede anbefalinger til naturforvaltere og lovgivere på miljøområdet. Anbefalingerne peger på, hvordan man gennem proaktiv tilpasning kan integrere og tage højde for klimaændringens udvikling og dermed minimere de negative effekter på naturen. Disse anbefalinger opsummeres hér:

1. Indenfor **videnoparbejdning og udvikling** er der en lang række mekanismer i naturen, som endnu ikke er afklaret, herunder:
   - Viden om klimaændringens samspil med øvrige stressfaktorer på naturen og naturens feedback-mekanismer på klimaet, som er et nødvendigt led i at forbedre og optimere modellerne for fremtidens natur og dermed grundlaget for natur- og ressourceforvaltningen.
   - Kendskab til spredningsbiologi og funktionalitet, som er en nødvendig forudsætning for en målrettet naturforvaltningsindsats hen imod sikring af dyr og planters tilpasningsmuligheder gennem migration.
2. Med konkrete **handlinger** findes der en lang række muligheder for at styrke naturens robusthed, tilpasningsevne og elasticitet, som dog i større eller mindre grad kræver et forudgående udrednings- og analysearbejde. F.eks. minimering af øvrige stressfaktorer, udpegning af større naturområder, sikring af spredningskorridorer og tilpasning af praksis i relevante erhverv.
3. Ved at inddrage mulige klimaeffekter i revision og analyse af **lovgrundlag og støtteordninger** sikres en lovgivning, som indeholder relevante parametre for at sikre målopfyldelsen.
4. Flere af de ovenstående proaktive tilpasningstiltag kan optimeres ved at blive løst, videreudviklet og koordineret i et **regionalt samarbejde**. Problemstillingen er grænseoverskridende, og da landene også indenfor klimaeffektområdet har forskellige styrker og svagheder, er der hér en mulighed for et fælles løft indenfor viden, effektivitet og ressourceudnyttelse.

"Regionalt samarbejde optimerer klimatilpasningen – også på naturområdet."



Foto: Maria Mikkelsen

Liden klokke (*Campanula rotundifolia*).



Referencer

Ad Hoc Technical Expert Group (2003) Interlinkages between biological diversity and climate change. Advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto protocol. Montreal, SCB. CBD Technical Series, **10**.

Andersen, R & Sæther, B-E. (1996) Elg i Norge: biologi, atferd og forvaltning. *Teknologisk forlag.*

Angerbjörn, A. & al. (1995) Dynamics of the arctic fox population in Sweden. *Annales Zoologici Fennici*, **32**, 55-67.

Bazzaz, F.A. & Fajer, E.D. (1992) Plant life in a CO_2-rich world. *Scientific American.*

Bernes, C. (1994) Biologisk Mångfald i Sverige. *Naturvårdsverket m.fl.* Monitor 14.

Bernes, C. (2003) En varmare värld. Växthuseffekten och klimatets förändringar. *Naturvårdsverket & SweClim.* Monitor 18.

Blennov & Sallnäs (2002) Risk perception among non-industrial private forest owners. *Scandinavian Journal of Forest re-search*, **17**, 472-479.

Borgstrøm, R. (2001) Relationship between spring snow depth and growth of brown trout, Salmo trutta, in an alpine lake: Predicting consequenses of climate change. Arctic, *Antarctic and Alpine Research* **33**, 476-480.

Both, C. & al. (2004) Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proceedings Of The Royal Society*, **271**, 1657-1662.

Bradshaw, A.D. & McNeilly, T. (1991) Evolutionary Response to Global Climate Change. *Annals of Botany* **67** (sup.1) 5-14.

Burns, C.E. & al. (2003) Global climate change and mammalian species diversity in U.S. national parks, *Proceedings of the National Academies of Sciences of the United States of America*, **100**, 11474-11477.

Carpenter, S. R. & al. (1992) Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics* **23**:119-139.

Carter, T. & Kankaanpää, S. (2003) A Preliminary Examination of Adaptation to Climate Change in Finland. *Suomen ympäristö*, Helsinki.

CCME (2003) Climate, Nature, People: Indicators of Canada´s changing climate. *Canadian Council of Ministers of the Environment.*

Chapin, F.S. & al. (2000) Cosequences of changing biodiversity. *Nature*, **405**, 234-242.

Christensen, P.B. & al. (2004) Iltsvind. *Hovedland, Miljøbiblioteket.*

Costanza, R. & al. (1997) The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260.

Crick, H.Q.P. & al. (1997) UK birds are laying eggs earlier. *Nature,* **388**, 526.

Dalen, L. & Hofgaard, A. (2005) Differential regional treeline dynamics in the Scandes Mountains. Arctic, *Antarctic and Alpine Research,* **37**(3), 284-296.

Dias, B. & al. (2003) Biodiversity and linkages to climate change. – *In: AHTEG 2003, CBD Technical Series*, **10**, 19-29.

Direktoratet for Naturforvaltning (2003) Handlingsplan for fjellrev. *Rapport* 2003-2.

Dukes, J.S. & Mooney, H.A. (1999) Does global change increase the success of biological invaders? *Tree*, **14**, 135-139.

Fankhauser & al. (1999) Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions. *Ecological Economics*, **30**, 67-78.

Fenger, J. & Torp, U. (1992) Drivhuseffekt og klimaændringer – hvad kan det betyde for Danmark. *Miljøministeriet, Danmark.*

Forchhammer, M.C. & al. (1998) Breeding phenology and climate. *Nature*, **391**, 29 – 30.

Forchhammer, M.C. & al. (2002) North Atlantic Oscillation timing of long- and short-distance migration. *Journal of Animal Ecology,* **77**, 1002.

Framstad, E. & al. (2003) Natur i endring. Terrestrisk naturovervåking 1990-2002. *NINA*, **24**, 30.

Graham, L.P. (2004) Climate Change Effects on River Flow to the Baltic Sea. AMBIO: *A Journal of the Human Environment*, **33**, 235–241.

Grime, J.P. & al. (2000) The response of two contrasting limestone grasslands to simulated climate change. *Science,* **289**, 962-765.

Groombridge, B. (eds.) (1992) Global biodiversity. Status of the Earth's resources. A report compiled by the World Conservation Monitoring Centre. *Chapman & Hall*, London. UK.

Haddad, N.M. & al. (2003) Corridor use by diverse taxa. *Ecology,* **84**, 609-615.

Hannah, L. & al. (2002) Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology & Biogeography,* **11**, (6), 485.

Hannah, L. & al. (2002) Conservation of biodiversity in a changing climate. *Conservation Biology*, **16**, (1), 264 - 268.

Hanski, I. & Gilpin, M. (eds.) (1997) Metapopulation biology: ecology, genetics, and evolution. *Academic Press*, San Diego, USA.

Hanski, I. (1998) Metapopulation dynamics. *Nature*, **396**, 41-49.

Hassol, S.J. (2004) ACIA, Impacts of a warming arctic: Arctic Climate Impact Assessment. *Cambrigde University Press*.

Hein, M. & Jensen, K.S. (1997) CO2 increases oceanic primary production. *Nature*, **388**, 527-527.

Hessen, D. (2005) Klima og biologisk mangfold. *CICERONE*, 1.

Hofgaard, A. (1997) Inter-relationship between treeline position, species diversity, land use and climate change in the central Scandes Mountains of Norway. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **6**, 419-429.

Hofgaard, A. (2003) Effects of climate change on the distribution and developement of palsa peatlands: background and suggestions for a national monitoring project. *Norwegian Institute for Nature Research*, Project report 21.

Hofgaard, A. (2004) Effekten af klimaændringer på biologiske systemer. *Norwegian Institute for Nature Research*, Oppdragsmelding 848.

Hultén, E. (1977) Atlas över växternas utbredning i Norden. Generalstabens litografiska anstalts förlag.

Hänninen, H. (1991) Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell and Environment*, **14**, 449-454.

Høgda, K.A. & al. (2001) Climate change impact on growing season in in Fennoscandia studied by a time series of NOAA AVHRR NDVI data. *Proceedings of IGARSS' 01*, 1338-1340.

IPCC (2001) Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds.) Watson, R. & al., Cambridge *University Press*.

Joshi, J. & al. (2001) Local adaptation enhances performance of common plant species. *Ecology Letters*, **4**, 536-544.

Kaikusalo, A. & al. (2000) Will the arctic fox become extinct in Finland? *Suomen Riista*, **46**, 57-65.

Kimura, M. & Weiss, G. (1964) The stepping stone model population structure and the decrease of genetic correlation with distance. *Genetics*, **49**, 561-576.

Kramer, R. & al. (1997) Last stand. Protected areas and the defense of tropical biodiversity. *Oxford University Press*.

Kronvang, B. & al. (1999) Retention of nutrients in river basins. *Aquatic Ecology*, **33**, 29-40.

Kullman, L. (2001) 20th century climate warming and tree-limit rise in the southern Scandes of Sweden. AMBIO: *A Journal of the Human Environment*, **30**, 70.

Lassen, K. & Friis-Christensen, E. (1995) Variability of the solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **57**, 835-845.

Leinonen, R. & al. (2003): Valtakunnallisen yöperhosseurannan tulokset 1999. *Baptria*, **28**, 16-22.

Linell, J.D.C. & al. (1999) Har fjellreven en framtid i Norge? Statusrapport og forslag til forvaltningsplan. *Norwegian Institute for Nature Research*, oppdragsmelding, **575**, 1-37.

Loreau, M. & al. (2001) Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, **294**, 804-808.

Luoto, M. & al. (2004) Loss of palsamires in Europe and biological consequences. *Environmental Conservation*, **31**, (1), 30-37.

MacKenzie, B.A. & al. (2002) Delrapport vedrørende klimaændringer. *DFU-rapport nr. 109-02*.

Meier Markus, H.E. & al. (2004) Simulated Distributions of Baltic Sea-ice in Warming Climate and Consequences for the Winter Habitat of the Baltic Ringed Seal. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, **33**, 249-256.

Meir, E. & al. (2004) Does conservation matter in a dynamic and uncertain world? *Ecology Letters*, **7**, 615.

MICE (2004) Modelling the impacts of climate extremes. EU-project.

Milchunas, D.G. & Lauenroth, W.K. (1995) Inertia in plant community strauctur: state changes after cessation of nutrientenrichment stress, *Ecological Applications*, **5**, 452-458.

Moen & al. (2004) Potential Effects of Climate Change on Treeline Position in the Swedish Mountains. *Ecology and Society*, **9** (1), 16.

Mooney, H.A. & Cleland, E.E. (2001) The evolutionary impact of invasive species. *Proceedings of the National Academies of Sciences of the United States of America*, **98**, 5446-5451.

Mortensen, L.M. (in prep.) Effects of global CO_2 increase on different terrestrial ecosystems in Norway.

Nehring, S. (1998) Establishment of thermophilic phytoplanktonspecies in the North Sea: biological indicators of climate changes? *ICES Journal of Marine Science*, **55**, 818-823.

Norby, R.J. & Luo, Y. (2004) Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO_2 and global warming in a multi-factor world. *New Phytologist*, **162**, 281-293.

NOU Norges Offentlige Utredninger (2004): Lov om bevarin av natur, landskap og biologisk mangfold.

Næss, L.O. & al. (2004) Forstudie til klimatilpasningsstrategi for Norge. *CICERO*, **11**, 45.

Opdam, P. & Wascher, O. (2004) Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*, **117**, 285-297.

Parmesan, C. & al. (1999) Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, **399**, 579-583.

Parry, M.L. (eds.) (2000) Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe. *Jackson Environmental Institute*.UK.

Peng, S. & al. (2004) Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **6**, 9971-5.

Poff, N.L. & al. (2002) Aquatic ecosystems and global climate change. *Pew Center on Global Climate Change*.

Pullin, A.S. & al. (2004) Do conservation managers use scientific evidence to support their decision-making? *Biological Conservation*, **119** (2) 245-252.

Reid, W.V. & al (2003) People and Ecosystems: A Framework for Assessment. Millenium Ecosystem Assessment Report.

Robock, A. (1994) Review of Year Without a Summer? World Climate in 1816, *Climatic Change*, **26**, 105-108.

Rodrigues, A.S.L. & Gaston, K.J. (2001) How large do reserve networks need to be? *Ecology Letters*, **4**, 602.

Ryrholm, N. (2003) Global warming and the change of European butterfly distributions, a new opportunity for species diversity or a severe threat? *Proceedings of the 13th International Colloquium of the European Invertebrate Survey*. **7**-11.

Sala, O.E. & al. (2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, **287**, 1770-1774.

Skov- og Naturstyrelsen (2005) Handlingsplan for naturnær skovdrift i statsskovene. *Miljøministeriet*.

Skriver, J. (2002) Dusinet fuldt for skestorken. *Fugle og Natur*, 22-23.

Sonesson, M. & Lilliesköld, M. (eds.)(2000) Fjällens ekosystem i ett förändrat klimat. *Naturvårdsverket*. Rapport 5085.

Stenseth, N.C. & Mysterud; A. (2002) Climate, changing phenology and other life history traits: Nonlinearity and match-mismatch to the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **99**, 13379-13381.

Stervander, M. & al. (in prep.) Timing of spring migration in birds: long-tern trends, North Atlantic Oscillation and the significance of different migration routes.

Suffling, R. (1992) Climate Change and boreal forest fires in Fennoscandia and Central Canada. *Catena*, **22**, 111-132.

Sæther, B.E. & al. (2000) Population Dynamical Consequences of Climate Change for a Small Temperate Songbird. *Science*, **4**, 854-856.

Tannerfeldt, M. & al. (2002) Exclusion by interference competition? The relationship between red and arctic foxes. *Oecologia*, **132**, 213-220.

Thomas, C.D. & Lennon, J.J. (1999) Birds extent their ranges northwards. *Nature*, **399**, 213.

Tol, R.S.J. & al. (1998) The scope for adaptation to climate change: what can we learn from the impact litterature? *Global Environmental Change*, **8**, 109-123.

Tøttrup, A. (2004) Changing phenlogy of migratory passerines in Northern Europe. M.sc. Thesis, Zoological Museum, University of Copenhagen, Denmark.

UNEP (United Nations Environment Programme) 1995. Global Biodiversity Assessment. *Cambridge University Press*.

Verta, M. & al. (in prep.) Dioxin concentrations in sediments of the Baltic Sea – a survey of existing data.

Vestergaard, P. (2001) Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise to Danish near Shore Ecosystems (eds. Jørgensen, A.M.K. & al) *Climate change research. Danish contributions*, 255 - 263. Gads Forlag, Danmark.

Virkkala, R. & al. (1994) Conservation value of nature reserves: do hole-nesting birds prefer protected forests in southern Finland? *Annales Zoologici Fennici*, *31*, 173-186.

Visser, M.E. & al. (1998) Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings Of The Royal Society*, **26**, 1867-1870.

Visser, M.E. & al. (2003) Variable responses to large-scale climate change in European Parus populations. *Proceedings of The Royal Society*, **270**, 367-372.

Vähätalo, A.V. & al. (2004) Spring arrival of birds depend on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Avian Biology*, **35**, 210-216.

Walther, G.R. & al. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, **416**, 389-395.

Wuethrich, B. (2000) How Climate Change Alters Rhythms of the Wild. *Science*, **287**, 793-795.

Zackrisson, O. (1977) Influence of forest fires on the north Swedish boreal forest. *Oikos* **29**: 22-32.

Zuidhoff, F.S. (2002) Recent decay of a single palsa in relation to weather conditions between 1996 and 2000 in Laivadalen, northern Sweden. *Geografiska Annaler*, **84 A**, 103-111.

Zuidhoff, F.S. (2003) Palsa growth and decay in Northern Sweden. Faculty of Science and Technology 813, Uppsala University.

Aaris-Sørensen, K. (1988) Danmarks forhistoriske dyreverden. *Gyldendals Bogklub*.

Nordisk Ministerråd

Store Strandstræde 18
DK-1255 København K
www.norden.org

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Frederiksborgvej 399
4000 Roskilde
www.dmu.dk

TemaNord 2005:571
ISBN 92-893-1219-X

Nordisk Naturforvaltning i et ændret Klima

Når f.eks. –

- planterne blomstrer tidligere og tidligere,
- planternes vækstsæson er forlænget,
- sommerfuglene syd fra viser sig hyppigere på vores himmelstrøg,
- fiskerne oftere får sydlige fiskearter i garnet,
- koldtvandsarter som torsk og rødspætte går tilbage i Nordsøen,

– ser vi tegn på at klimaets ændring tilsyneladende har en effekt på naturen og dens rytme.

Planlægning og tilpasning
Hvis denne klimaforandring er delvis menneskeskabt, som - med få undtagelser – er den almindelige opfattelse, vil denne udvikling fortsætte hen imod mere varme, ændret nedbørsmønster og mere ekstremt vejr. Derfor foreslår denne rapport at naturforvaltere og politikere allerede nu tager højde for udviklingen i sin planlægning og administration af benyttelsen og beskyttelsen af naturen.

Konkrete tiltag
Er det muligt at tilpasse sig klimaændringen og samtidig minimere de negative effekter som klimaforandringen måtte have på naturen? Ja, der er mange handle-muligheder. Det kan være at sikre dyr og planters mulighed for at tilpasse sig klimaets ændring gennem migration; at bevare kysterne som bufferzoner for vand-standsstigninger; at plante skov som også trives under lidt mildere temperaturer, men uden dog at introducere fremmede arter fra andre kontinenter osv.

Omsæt viden om klimaforandring i naturforvaltning
Denne rapport peger på nogle mere eller mindre konkrete værktøjer som kan bruges til dette, men frem for alt peger den på fordelen ved allerede nu at tænke klimaforandringen ind i naturforvaltning og udnyttelse af naturens ressourcer.

