

Baggrundsrapport om klimaændringer og natur

**Skov- og Naturstyrelsen
Naturområdet
20. januar 2006
ANN**

Forord	3
Sammendrag	4
Indledning.....	6
Kapitel 1 - Den danske natur.....	7
Klimaeffekter på de terrestriske økosystemer	8
Temperaturstigning	8
Nedbørsændring	9
Vandstandsstigning	9
Effekter på 104 plantearter – et modeksempel	10
Klimaeffekter på de terrestriske økosystemer – kort	12
Klimaeffekter på det ferske vandmiljø	13
Vandløb	13
Temperaturstigning og nedbør	13
Vandmængde og erosion	14
Søer	15
Temperaturstigning	15
Mere nedbør og ændret nedbørsmønster	16
Flere ekstreme vindhændelser	16
Klimaeffekter på det ferske vandmiljø – kort.....	16
Klimaeffekter på det marine miljø.....	18
Øget temperatur og effekter på havets plante- og dyreliv	18
Primærproduktion.....	19
Bundfaunaen og iltsvind.....	20
Fisk.....	20
Fugle	22
Mere iltsvind.....	22
Effekten af øget nedbør	23
Tang og ålegræs	23
Fugle	24
Vandstandsstigning	24
Klimaeffekter på de marine økosystemer – kort	26
... indenfor naturforvaltning.....	27
... og i de andre sektorer.....	29
Natur- og Miljøneutral Klimatilpasning (NMK) i øvrige sektorer.....	29
Lovgrundlag.....	30
Dæmpende aktiviteter	30
Støtteordninger.....	31
Kapitel 3 - Klimaeffekter på tværs	32
Golfstrømmens varme vand	32
Den nordatlantiske oscillation – NAO.....	32
Atmosfærens stigende CO ₂ - indhold	32
Metangas – en kraftig drivhusgas i jord og sediment	33
Invasive arter.....	33
Kapitel 4 – Videnbehov.....	35
Litteraturliste	36

Forord

Denne rapport er udarbejdet som led i forberedelsen af en dansk strategi for klimatilpasning til de kommende 100 års ændringer i klimaet. Rapporten sammenfatter den eksisterende viden om klimaændringernes effekter på naturen (status - januar 2006). Dens primære formål er at danne en faglig baggrund for vurderingen af, hvilke indsatser der i forhold til forvaltningen af naturen skønnes hensigtsmæssige at medtage i en mulig dansk klimatilpasningsstrategi.

Rapporten indgår, sammen med en række andre baggrundsrapporter fra de enkelte sektorer, som arbejdsredskab for den tværministerielle arbejdsgruppe om klimatilpasninger (TAK).

Rapporten er udarbejdet af biolog Maria Mikkelsen i samarbejde med en række medarbejdere fra Skov- og Naturstyrelsen, bl.a. Henrik Wichmann og Ulrik Berggren. Den er blandt andet blevet til på baggrund af en række rapporter udarbejdet af eksperter fra forskellige sektorforskningsinstitutioner, herunder Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Fiskeriundersøgelser, som ligeledes har stillet sig til rådighed med viden, gode råd og opdateringer af oplysninger. Miljøstyrelsen har beredvilligt medvirket med finansieringen.

Sammendrag

Baggrundsrapporten om klimaændringer og natur er udarbejdet til brug for overvejelserne om en dansk klimatilpasningsstrategi frem mod 2100. Omfanget og karakteren af klimaændringerne er belyst af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) i et særskilt notat (Scenariedata for fremtidens klima i Danmark) som et fælles grundlag for analyserne af tilpasningsbehovet i alle berørte sektorer. Den foreliggende rapport bygger på dette notat.

Den danske natur bliver i stigende omfang påvirket af klimaets forandring. Forandringen vil medføre ændringer i større eller mindre grad afhængig af hvilket naturtyper (fx heder, moser, enge, kyster, søer, vandløb eller naturtyper i havet) og arter af dyr og planter, man ser på, samt hvilke klimafaktorer, som er begrænsende for disses vækst og overlevelse. De fremherskende klimaændringer af direkte betydning for naturtyper og arter vil være:

- (1) En temperaturbetinget forøgelse af primærproduktionen.
- (2) Forøgelse af nedbøren og et ændret nedbørsmønster, som bl.a. vil føre til øget næringsstofbelastning i vandmiljøet.
- (3) En direkte påvirkning af vandstandsstigningen på de lavvandede kyster og strandenge.

Klimaændringerne forstærker den stress, som naturen allerede i dag er udsat for gennem habitatfragmentering, habitatødelæggelser, overgødskning, konkurrence fra invasive arter, forurening med miljøfarlige stoffer mv. For at bevare naturen, herunder naturens ydelser og funktioner, er det derfor nødvendigt at iværksætte en planlagt klimatilpasning gennem naturforvaltning og gennem aktiviteter i de samfundssektorer, der påvirker naturen.

Der er to overordnede typer reaktioner dyr og planter kan følge ved forringelser af levevilkårene uanset årsag, nemlig: (1) at flytte sig, eller (2) at tilpasse sig. Disse to reaktionstyper har hver sine præmisser. Den første strategi forudsætter, at artens spredningsevne overstiger afstanden til et egnet levested. Den anden strategi forudsætter, at der i den givne bestand findes et tilstrækkeligt antal individer, som overlever de ændrede livsvilkår indtil reproduktionsalderen.

De to typer reaktioner kan forvaltningsmæssigt understøttes ved at reducere presset fra de øvrige stressfaktorer, som naturen er udsat for og ved at sikre dyrs og planters spredningsmuligheder. Dette kan kræve justeringer af love, bekendtgørelser, forvaltningspraksis og/eller andre styringsmidler. Gennem dette optimeres naturens robusthed, elasticitet og tilpasningsevne overfor såvel de gradvise klimaforandringer som

de klimaforandringer, som viser sig som ekstreme vejrhændelser, og naturens ressourcer sikres bedst muligt mod effekter afledt af klimaændringer.

Naturen har generelt et stort tilpasningspotentiale, forudsat at der er tid, rum og mangfoldighed nok. Naturen har gennem tiden tilpasset sig ændrede livsvilkår (eller gået under) gennem migration og evolution (naturlig selektion af levedygtige gener/arveegenskaber). Det er denne tilpasningsevne i naturen en planlagt tilpasningsstrategi bygger videre på. Man kan sige, at den planlagte tilpasning sikrer rammen for naturens egen (spontane) tilpasning.

Udover en klimatilpasning i selve naturforvaltningsarbejdet, er det afgørende at øvrige sektorer, som direkte eller indirekte påvirker naturen, vurderer konsekvenserne for natur og miljø af sektorens klimatilpasningstiltag. Det er således relevant både at belyse konsekvenserne for natur og miljø i den nuværende situation og at belyse virkninger under et ændret klima i de tilfælde, hvor anlægget eller tiltaget rækker længere ud i fremtiden.

Et andet område, som er vigtigt for sikring af naturens udviklingsmuligheder under et klima i ændring er viden. Viden er en forudsætning for at følge og forudsige klimaets udvikling og effekten af dette på naturen, udvikle metoder til minimering af de negative effekter af klimaændringen og evaluere givne klimatilpasningstiltags effektivitet osv.

Rapporten anbefaler en planlagt klimatilpasning indenfor følgende tre hovedområder:

- Klimaintegreret naturforvaltning - styrker naturens egen klimatilpasningsevne.
- Natur- og Miljøneutral Klimatilpasning i øvrige sektorer - sikrer at klimatilpasningstiltag i de forskellige sektorer som minimum ikke forringer naturens mulighed for egen spontan klimatilpasning.
- Videnopbygning og naturovervågning - underbygger optimeringen af klimatilpasningstiltag gennem viden om klimascenarier, klimaeffekter, tilpasningsmuligheder og effektivitet.

Indledning

I det følgende præsenteres de danske økosystemer og de effekter, som allerede observeres i naturen eller som vi muligvis vil se i fremtiden, som resultat af klimaforandringen.

Bedømmelsen af klimaeffekterne bygger på det fælles grundlag, som DMI har udarbejdet for den tværministerielle arbejdsgruppe ("Scenariedata for fremtidens klima i Danmark"). I dette grundlag beskrives 3 scenarier (hhv. A2-, B2- og 2 °C-scenariet) med tilhørende modelberegnete ændringer af klimaet på en række parametre (temperatur, nedbør, vindhastighed, vandstandsstigninger mv.). En del af det materiale, som har været til rådighed for beskrivelse og analyse af naturforholdenes udvikling bygger dog også på andre scenarier.

Rapporten behandler udover klimaeffekter på naturen, mulige indsatsområder for at modvirke klimaforandringens negative effekter på naturen, samt behovet for at naturhensyn inddrages i øvrige sektorerers klimatilpasningstiltag (Natur- og Miljøneutral Klimatilpasning). En række klimaeffekter på tværs af naturens økosystemer behandles helt generelt og sidst peges der på emneområder, hvor der er behov for øget viden.

Der er flere områder, hvor det foreliggende materiale er begrænset og huller derfor opstår. F.eks. har det kun i begrænset omfang været muligt at skelne mellem effekten af de 3 klimascenarier og udvalgte tidsperioder, idet usikkerheder er knyttet til samtlige niveauer i undersøgelserne spændende fra selve scenarierne til usikkerhed omkring feedbackmekanismer mellem natur og klima og den usikkerhed som ligger i samspillet mellem to non-lineære systemer som klima og natur begge er. Der er dog en tydelig tendens til en graduering af effekterne i forhold til scenarierne. Diverse modelberegninger viser, at de største klimaeffekter ses ved A2 scenariet og de mindste effekter ses ved 2 °C -scenariet. Dette afspejler, at A2 scenariet medfører de største klimaændringer og 2 °C -scenariet medfører de mindste klimaændringer.

Teksten bygger på rapporter udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) i forbindelse med det foreliggende tværministerielle klimastrategiarbejde og kommunikation med eksperter fra DMU og andre institutioner, samt rapporter og videnskabelige artikler om klimaeffekter på naturen.

Gennemgangen af klimaændringernes effekter på naturen i denne rapport bygger på en "alt andet lige"-forudsætning. Der er altså ikke tale om egentlige prognoser eller forudsigelser, men illustrationer af hvordan naturforholdene kan udvikle sig frem mod 2100 under en række forudsætninger og uden samfundsmæssige indgreb med afhjælpende foranstaltninger.

Kapitel 1 - Den danske natur

I dette kapitel gennemgås effekterne af klimaændringerne på økosystemerne i Danmark. Kapitlet behandler de enkelte økosystemer hver for sig mht. nogle overordnede klimaparametre, såsom temperaturstigning, nedbørsændring og vandstandsstigning og de effekter det allerede har medført eller kan forventes at medføre i fremtiden. Når relevant er der i overskriften over enkelte afsnit anført de klimaudviklingsværdier for temperaturstigning, nedbørsudvikling og vandstandsstigning, som ligger til grund for vurderingen af klimaeffekterne på det pågældende økosystem.

Klimaeffekter på de terrestriske økosystemer

Danmark er et landbrugsland. 88 % af landet dækkes af landbrug, veje eller byer, og kun en mindre del af landet af terrestriske naturtyper og ferskvand. Mange af de terrestriske naturtyper, som vi i Danmark ønsker at bevare, og som derfor er omfattet af Naturbeskyttelsesloven, er naturtyper i en hel- eller halvkulturform, som kun opretholdes ved en form for drift som f.eks. græsning, høslet eller afbrænding.

De fleste af de beskyttede naturtyper er kendetegnet ved at være næringsfattige, hvilket betyder, at de er følsomme overfor tilførsel af næringsstoffer. Samtidig medfører ændringer i driftsformen, at mange naturtyper trues af tilgroning. Generelt beskriver de scenarier der er for fremtidens klima, en stigning i temperatur og muligvis også en stigning i kvælstof- (N) og kuldioxidniveau (CO₂). Dette vil betyde, at primærproduktionen i alle vore terrestriske økosystemer vil stige og dermed påvirke de beskyttede naturtyper negativt.

Flere projekter (CLIMAITE, CLIMOOR, VULCAN mv.) undersøger eller har undersøgt eksperimentelt at undersøge en given naturtypes reaktion overfor temperaturstigningen, det forøgede CO₂-indhold i luften, ændringen i nedbørsmønstret mv. Det er derfor i øjeblikket kun muligt at skitsere nogle overordnede tendenser for de terrestriske naturtyper. En generel tendens er dog, at arter hvis nordlige del af det samlede udbredelsesområde er i Danmark vil gå frem hér, hvorimod de arter som har den sydlige del af deres udbredelsesområde i Danmark vil gå tilbage. Hér i landet vil vi miste nogle arter, mens andre vil komme til. I litteraturen indikeres det, at det typisk vil være de robuste og mobile opportuniste, og således også de mest almindelige arter, som vil have fremgang, hvor arter som er følsomme og sjældne pga. små bestande, begrænset variation i det genetiske materiale, ringe mobilitet, eller arter som er specialister vil gå tilbage eller uddø (Parmesan et al. 1999).

Temperaturstigning (+ 0,7 °C - + 4,6 °C)

Generelt afhænger vegetationens vækst for en stor del af temperaturen. Således vil en temperaturstigning, hvis væksten vel at mærke ikke hæmmes af vandmangel, forlænge vækstsæsonen og dermed også øge primærproduktionen. Vækstsæsonen defineres, som den del af året, hvor døgnet's middeltemperatur overstiger den nedre grænse for plantevækst (Bernes 2003). I Danmark, der ligger i den tempererede zone, vil en temperaturstigning derfor medføre øget tilvækst og begunstige de planter, hvis vækst er temperaturbegrænset. Herved rykkes konkurrenceforholdene i økosystemet med ændringer i artsfordeling til følge (Bazzaz et Fajer 1992). Et eksempel på hvordan klimaet allerede påvirker primærproduktionen ses ved målinger af vækstsæsonens begyndelse og afslutning. Ud fra disse målinger har man konstateret at vækstsæsonen er forlænget med mere end 4 uger i perioden 1982 til 1999 i det meste af Danmark (<http://www.itek.norut.no>). En anden effekt som også ses er ændringer i pollensæsonens starttidspunkt.

Overvågninger viser, at pollensæsonen starter tidligere og tidligere. Siden 1978 er pollensæsonen fremrykket med næsten 3 uger (Ambelas Skjøth in prep.).

I takt med at temperaturen stiger, stiger hyppigheden af forekomsten af "nye" arter syd fra. Det drejer sig primært om mobile arter som fugle og insekter, der kan tilbagelægge store afstande. Vi har i de seneste år set eksempler på arter, som indvandrer syd fra til Danmark, f.eks. den varmeelskende og giftige edderkop *Tegenaria agrestis* fra Sydeuropa, som nu lever på Peberholmen, kejserguldsmeden (*Anax imperator*) og den sydlige nattergal (*Luscinia megarhynchos*) (Tøttrup 2004). Det kan forventes, at arter fra syd i stigende omfang vil indvandre i forbindelse med klimaændringerne. Da de nye arter også begunstiges af de ændrede konkurrenceforhold, kan det forventes, at hurtige klimaskift kan ændre og destabilisere økosystemerne (Walther et al. 2002; Grime et al. 2000).

Nedbørsændring (-15 % (sommernedbør) - +21 % (max døgnedbør))

I alle scenarier beregnes der mere nedbør på årsbasis (4 til 9 %), men mindre nedbør om sommeren (-15 % i A2). Selvom den samlede sommernedbør forventes at falde, udviser den maksimale døgnedbør den modsatte tendens (+21 % i A2). Det betyder at somrene med de tre klimascenarier A2, B2 og 2 °C-scenariet bliver mere tørre, men med kraftigere nedbørshændelser. For den enkelte lokalitet og den enkelte jordbund er den vigtigste variable parameter vandindholdet. Et passende vandindhold i jorden er nødvendigt for udnyttelsen af jordens potentiale som vækstmedium og dermed også som grundlag for planter og dyr, men vandindholdet er også afgørende for vindens og vandets eroderende virkning på jorden. Således vil kraftige regnskyl skylle løs jord væk, særligt hvis det drejer sig om en skråning, eller hvis jorden er så tør at regnen skylles af. Således vil somre med lange tørkeperioder afløst af kraftige nedbørshændelser øge risikoen for erosionsskader og dermed forringe jorden som livsgrundlag for planter og dyr. På denne vis er nedbørsændringens betydning afhængig af hvornår på året og i hvor stor mængde ad gangen vandet kommer. De enkelte naturtypers reaktion på ændret nedbørsmønster er forskellig afhængig af naturtypens biologiske og ikke biologiske faktorer, f.eks. vil lange tørkeperioder om sommeren øge omsætningen af tørven i højmoser og dermed også frigivelsen af CO₂. Den øgede årsnedbør vil formodentlig hæve grundvandsspejlet og ændre vilkårene for planter og dyr i de ferske enge, kærene og ådalene (Fenger et Torp 1992). En arealmæssig forøgelse af kær og ferske enge vil betyde at dyr og natur knyttet til disse områder vil få forbedrede levevilkår. Således er effekten af ændringer i nedbøren ikke entydig, men i høj grad afhængig af naturtypen og den måde nedbøren falder på.

Vandstandsstigning (+0,20 m - +1,05 m)

De terrestriske naturtyper som umiddelbart vil blive mest påvirket af en vandstandsstigning er strandengene og marsken (Vestergaard 2001). Begge er udsat for tidvis oversvømmelse ved højvande eller uregelmæssige saltvandspåvirkninger gennem bølgesprøjt. Vegetationen på strandengen er da også karakteriseret ved at

være salttålede. De enkelte plantearters konkurrenceevne er afhængig af jordbundens saltindhold og iltforholdene som reguleres af oversvømmelsernes omfang og varighed. Selv mindre ændringer i dette medfører store ændringer på artssammensætningen. Derfor er strandengen meget følsom overfor vandstandsstigninger. Mange fuglearter er knyttet tæt til strandengsområderne. Vadehavet f.eks. er af international betydning som rasteplads for trækfugle, men tjener også som yngleområde for en lang række vadefugle, som rødben (*Tringa totanus*), almindelig ryle (*Calidris alpina*), stor kobbersneppe (*Limosa limosa*) osv. Flere af disse arter er udelukkende knyttet til denne naturtype og reduceres arealet af strandengsarealerne i Danmark som konsekvens af vandstandsstigningen reduceres også antallet af strandengsfugle.

Sand- og klitkyster er ligeledes udsatte for vandstandsstigninger. Klitterne og vegetationen hér påvirkes formodentlig af vandstandsstigningen ved øget erosion og destabilisering, særligt ved ekstreme højvands- og stormsituationer. Kysterne vil derfor alt andet lige ændre forløb og udformning ved vandstandsstigningen.

Fenologi

Fenologi beskriver dyr og planters sæsonbestemte adfærdsmønstre. Indenfor fenologien er det forholdsvis enkelt at opdage og registrere klimaeffekter på arter. Præcis hvilke klimaelementer, der styrer fenologien, er artsafhængigt (Forchhammer et al. 1998). For nogle arter er det måske temperaturen alene, for andre muligvis et samspil mellem temperatur og ændret nedbørsmønstre eller lys mv. Æglægning og æg-klækning er eksempler på temperaturstyrede mekanismer (Both et al. 2004). Engelske undersøgelser, viser hvordan en hel fødekæde kan påvirkes af forhøjede temperaturer. Egetræets nyudsprungne blade spises af den lille frostmålers larver (et møl) (*Operophtera brumata*), som igen spises af musvittens (*Parus major*) unger. Systemet er nøje afstemt eller med andre ord synkroniseret. Ved en forhøjet temperatur springer egens blade tidligere ud, hvilket får den lille frostmålers larver til at fremskynde dens rytme med samme periode. Disse to dele af fødekæden bevarer deres synkronitet. Musvitten fremskynder også sin æglægning og dermed ungernes æg-klækning, men ikke i samme udstrækning som den lille frostmåler og egen. Dette reducerer den periode, hvor der er rigeligt med frostmålerlarver som føde til musvittens unger, og dermed forringes musvitungernes overlevelsesmuligheder. Denne påvirkning op igennem en hel fødekæde er et eksempel på det som med et engelsk ord kaldes "mis match". Altså det som sker når økosystemernes enkeltdele kommer ud af fase eller bliver usynkron (Visser et al. 1998; Stenseth et al. 2002, phenology.org.uk).

Effekter på 104 plantearter – et modeksempel

Ser man på, hvilket klima vi kan forvente under henholdsvis scenario A2 og B2 viser det sig, at vi under B2 scenariet kan forvente et klima i år 2100, som vi i dag hovedsagligt finder i det nordlige og centrale Frankrig. Hvorimod vi under A2-scenariet kan forvente et klima som i det centrale og det sydlige Frankrig, samt i bjergegnene i det nordlige Spanien og Italien. I disse egne er der en artsrigdom af samme størrelse eller lidt

større end den, vi finder i Danmark i dag. En del arter er fælles for de to egne, men mange er forskellige og konsekvenserne af klimaændringerne vil afhænge af mange faktorer, bl.a. hvorvidt arterne er i stand til at overleve eller tilpasse sig klimaændringerne på stedet eller sprede sig i et tempo, som svarer til den hastighed, hvormed klimaet ændrer sig og om der er mulighed for at sprede sig i et fragmenteret landskab. Da solhøjden/lysforholdene og jordbundsforholdene ikke ændrer sig med klimaforandringen, vil de to områders vegetation og dyreliv aldrig blive ens.

En analyse af potentielle konsekvenser af de to klimascenarier A2 og B2 for udbredelsen af 104 udvalgte danske karplanter frem til år 2100 viser en overvejende negativ effekt for udbredelsen af de undersøgte arter og sandsynligvis også på den botaniske mangfoldighed som helhed. Arterne repræsenterer et bredt spektrum af danske vegetationstyper fra klit og overdrev over eng og mose til skov.

Der er større negativ effekt på de undersøgte plantearter ved klimascenarier A2 end B2. Indenfor Danmarks grænser varierer den forventede effekt betydeligt, idet den sydøstlige del af landet forventes påvirket langt mere negativt end den vestlige del. Danmarks Miljøundersøgelses analyser tyder på at arter der tilhører ferske enge og moser vil være mest sårbare overfor den globale opvarmning, uden at dette dog er statistisk signifikant. Nogle arter vil helt miste passende klimatiske forhold under begge scenarier (henholdsvis 4 % og 7 % af de 84 hjemmehørende karakteristiske arter) og forventes derfor at få så dårlige klimatiske betingelser i Danmark i år 2100, at der er stor fare for, at de forsvinder.

Under klimascenarier A2 forventes 78 % af arterne at blive påvirket negativt, 10 % af arterne forventes påvirket positivt og 12 % af arterne forventes at reagere neutralt på klimaændringen. I B2 scenariet, er forventningen at 67 % af arterne påvirkes negativt, 12 % positivt og 21 % af arterne ikke påvirkes.

I undersøgelsen er arter fra Habitatdirektivets liste over karakteristiske arter valgt (Søgaard et al. 2003). Trods særlige økologiske krav hos forskellige organismegrupper er der meget der tyder på, at klimaet har en meget stor og temmelig ensartet betydning for udbredelsen og diversiteten af de fleste organismegrupper på større geografisk skala (måske undtaget mikroorganismer). Således har man observeret tydelige fænologiske og i et vist omfang udbredelsesmæssige effekter af temperaturforhøjningen hos en bred vifte af dyre- og plantegrupper (Walther et al. 2002; Root et al. 2002). Studier af forskellige organismegrupperes klimatiske niche vha. bioklimatisk habitat-modellering har også vist, at både karplanter, insekter og fugle er begrænset på lignende vis af klimaet på stor skala (Huntley et al. 2004). Det kan derfor også forsigtigt forventes, at arterne vil reagere nogenlunde ens på de fremtidige klimaændringer (Thomas et al. 2004). Derfor vurderer DMU's eksperter, at man med en vis forsigtighed kan bruge karplanter, som indikatorer for følsomheden af den danske ikke-mikrobielle terrestriske biodiversitet overfor klimaændringer.

Undersøgelser som den ovenstående beskrevet omfatter dog ikke faktorer som vandstandsstigning, arealanvendelse og biologiske interaktioner, som har stor indflydelse på arternes overlevelsesmuligheder under ændrede klimatiske forhold. Disse faktorer er udeladt dels fordi man ikke på nuværende tidspunkt kan håndtere dem rent modelteknisk, dels fordi projektet ikke gav mulighed for ny metodeudvikling. Resultaterne skal derfor ses som en indikation på, hvordan klimaændringen kan påvirke vegetationen i Danmark de næste 100 år og ikke som en nøjagtig forudsigtelse.

Klimaeffekter på de terrestriske økosystemer – kort

Temperaturstigning

- Vækstsæsonen forlænges
- Primærproduktionen øges
- Omsætningshastigheden stiger
 - Konkurrenceforholdene mellem arter ændres
 - Adfærdsmønstre (fenologi) ændres og risikoen for at fødekæder/økosystemer kommer ud af fase stiger
 - Arter med ringe mobilitet, lav genetisk diversitet mv. vil gå tilbage, robuste og de mere almindelige arter vil gå frem
 - Arter på deres nordlige udbredelsesgrænse i Danmark vil gå frem, mens arter på den sydlige grænse af deres udbredelsesområde vil gå tilbage

Øget nedbør/ændret nedbørsmønster

- Øget erosion, specielt på skrånede overflader som f.eks. overdrev
- Øget omsætning af tørv i højmoser med deraf følgende frigivelse af CO₂
- Øget sommertørke med konsekvenser for dyr og planter
- Hævet grundvandsspejl med betydning for planter og dyr i ferske enge og kær, både negative og positive

Vandstandsstigning

- Strandenge og marskområder oversvømmes hyppigere og i længere tid
- Artssammensætningen på strandenge ændres
- Strandengsfugle og trækfugle som raster i Vadehavet og på strandenge iøvrigt trues
- Sand- og klitkyster eroderes og destabiliseres - kystlinjen ændres

Klimaeffekter på det ferske vandmiljø

2 % af Danmark dækkes af ferskvand i form af søer og vandløb. Udover at de ferske vande i sig selv udgør vigtige økosystemer, udfylder de gennem vand- og stoftransporten en funktionel rolle som forbindelsesled mellem det terrestriske miljø og havmiljøet.

Danske søer og vandløb er karakteristiske ved at være forholdsvis lavvandede systemer, som pga. et intensivt udnyttet landskab modtager en betragtelig mængde næringsstof fra landbrugslandet og byerne gennem udvaskning og spildevandsudledning. Især søerne er påvirket af den øgede næringsstofudvaskning, hvor vandløbene er mere påvirket af de hydrologiske og morfologiske ændringer, der er foretaget. Miljøtilstanden i de ferske vande er meget følsom overfor klimaændringer, i form af temperaturstigning og ændringerne i nedbørsmønstret, som påvirker udvaskningen fra land. En temperaturstigning påvirker vækstsæsonens længde ligesom på land og dermed også primærproduktionen, hvilket i sidste ende er afgørende for artssammensætningen i økosystemerne, samt den generelle miljøtilstand (Fenger et Frich 2002). Øget nedbør vil især for søer kunne få stor betydning, idet algevæksten og vandets gennemsigtighed ofte er styret af vandets næringsstofindhold. Ligesom for de terrestriske økosystemer vil arterne påvirkes mere eller mindre, afhængig af hvor i deres samlede udbredelsesområde de befinder sig. Generelt vil den negative effekt blive størst for de arter, som ligger i den sydlige ende af deres samlede udbredelsesområde, hvor de arter som befinder sig i den nordlige ende vil alt andet lige få forbedrede vilkår.

Vandløb

Vi har ca. 64.000 km vandløb i Danmark, hvoraf ca. 75 % er mindre vandløb, bække og grøfter under 2,5 m i bundbredde. Med klimaforandringens forhøjede temperaturer og ændrede nedbørsmønstre, vil koncentrationen og afstrømningen af de forskellige stoffer i vandløbene ændre sig (Andersen et al. 2006). Påvirkningen vil afhænge af jordbunden, arealudnyttelsen i det omgivende land og hydrogeologien i området, samt de fysiske-kemiske og biologiske processer, som har betydning for omsætningen og tilbageholdelsen af næringsstoffer.

Temperaturstigning og nedbør (+ 0,7 °C - + 4,6 °C) og (-15 % (sommernedbør) - +21 % (max døgnedbør))

Temperaturstigningerne vil ligesom for havene og de terrestriske miljøer øge omsætningshastighederne og vandets iltbindingsevne. Vandets iltbindingsevne falder med stigende temperatur, hvorfor risikoen for iltsvind i vandløbene vil stige, især sommer og efterår. Både fra dyrkede og udyrkede områder vil klimaforandringen via temperaturstigningen og den øgede nedbør medføre en øget udvaskning af kvælstof og fosfor. Samtidig er der risiko for større udledninger af næringsstoffer fra regnvandsbetingede udløb – overløbsbygværker, regnvandsbassiner og befæstede arealer. Den forøgede næringsstoftransport vil kun i

begrænset omfang påvirke planteproduktionen i vandløbene. Dog er makroalger og måske også trådalgerne delvist begrænset af fosforniveauet i nogle vandløb (Thyssen et al. 1990), hvorfor disse sandsynligvis vil blive begunstiget af øget fosforindhold i vandet. Temperaturstigningens effekter og effekterne af ændret og øget nedbør om vinteren og mindre nedbør i sommerperioden giver tilsammen en dårligere vandkvalitet med øget risiko for iltvind, især sensommer og efterår. Dette forringer livsvilkårene for dyr og planter, især er det en trussel mod visse rentvandsarter.

Vandmængde og erosion (-15 % (sommernedbør) - +21 % (max døggnedbør))

Det forventes, at erosionen vil stige fra stærkt hældende brinker med de stigende nedbørsmængder og intensiteter, som resulterer i stigende vandføring i vinterperioden i vandløb. Dette kompenseres der muligvis delvis for gennem nedgangen i hyppigheden af dage med sne, frossen jord og tøbrudssituationer, hvorved omfanget af jorderosion på markerne om foråret, med efterfølgende jordtab til vandløbene vil blive reduceret. Nedbør og vandafstrømning betyder noget for udvaskning af næringsstoffer fra land (fosfor og kvælstof), samt strømhastigheden og vandmængden, alle faktorer som har betydning for livsbetingelserne for dyr og planter og vandløbet som økosystem.

Specielt i de østdanske vandløb med lerede oplande vil en større sæsonvariation i vandføring medføre øget ustabilitet i strømmen (Andersen et al. 2006) og hér både øge erosionen om vinteren og aflejringen om sommeren. Dette vil generelt set forringe livsvilkårene for dyr og planter og ændre konkurrenceforholdene. Specielt laksefiskene vil få forringede levevilkår og reproduktionsforhold ved påvirkninger af gydevandring, som normalt er styret af årstid og vandføring, samt forringelse af gydeforhold og opvækstforhold pga. øget risiko for tilsanding af gydebanker og dårligere livsvilkår for yngelen.

En hyppigere sommerudtørring pga. den generelt mindre sommernedbør og det ændrede nedbørsmønster vil specielt i de østdanske småvandløb forstærke effekterne af temperaturstigningen og vandindvindingen, som allerede nu tidvis udtørrer vandløbene. For dyr og planter vil dette betyde at visse rentvandskrævende smådyr uddør og at laksefiskene vil gå stærkt tilbage i vandløb på Øerne. Fisk og padder vil være særligt udsatte, da de er afhængige af spredningsmulighederne i vandet. Nye og mere varmetolerante arter vil på sigt indvandre fra syd.

Den forøgede afstrømning af regnvand fra jordfladen pga. øget nedbør vil om vinteren resultere i flere oversvømmelser af ådale og vådere marker om foråret. Effekten af disse forhold vil for en stor del afhænge af arealudnyttelsen. Er der f.eks. tale om naturarealer med varigt plantedække er effekten for søerne og vandløbene mindre end hvis arealet består af marker i omdrift, hvorfra jordtab og næringsstofudvaskningen vil blive større. Alt andet lige vil flere oversvømmelser og vådere marker også føre til dårligere afvandingsforhold og ændret vegetation med flere vådbundsarter. Den større sedimenttransport og tab af

næringsstoffer til vandløbene som konsekvens af ændringerne i nedbørsmønstret og mere nedbør, vil resultere i øget næringsstofbelastning i nedstrømsliggende søer og fjorde. Dette vil forringe vilkårene for næringsfattige dyr og planter, ændre konkurrenceforholdene og ikke kun øge næringsstofbelastningen i vandløbene, men også nedstrøms i søer og fjorde (Jeppesen et al. 1992).

Søer

I Danmark har vi ca. 120.000 søer der er større end 100 m². Langt hovedparten af disse er dog småsøer og kun 2.762 af dem er større end 1 hektar. De ca. 120.000 søer har et samlet areal på ca. 58.000 hektar, hvilket svarer til ca. 1,4 % af Danmarks landareal. Temperaturændringen og ændringerne i nedbørsmønstret, udgør de klimaændringsparametre der vil have størst effekt på søerne. Når vækstsæsonen forlænges vil primærproduktionen stige, hvilket vil påvirke søernes økosystem og stabilitet (Carpenter et al. 1992). Ligesom for øvrige økosystemer betyder disse ændrede konkurrenceforhold, at økosystemerne kommer ud af balance og dermed åbnes der mulighed for indvandring af nye arter syd fra eller ikke hjemmehørende arter (Walther et al. 2002), som allerede er tilstede i landet

Temperaturstigning (+ 0,7 °C - + 4,6 °C)

En generel reaktion på temperaturforhøjelsen i et biologisk system er øget nedbrydning (mineralisering) af organisk materiale. Dette kan påvirke den interne næringsstoffdynamik i søerne, herunder udvekslingen af næringsstoffet fosfor mellem sediment og vandfase. Fosfor tilbageholdes normalt i sedimentet om vinteren, men øget temperatur kan føre til, at denne periode forkortes. Dermed kan en temperaturforhøjelse fremrykke tidspunktet for øget tilgængelighed af fosfor og derved påvirke de øvrige biologiske forhold via den øgede fosfortilgængelighed. En mindsket tilbageholdelse af fosfor ved en øget temperatur kan dog i princippet også føre til at fosforfrigivelsen fra sedimentet senere på året blive mindre, fordi puljen af tilgængeligt fosfor, der ophobes om vinteren, bliver mindre. På den måde kan en temperaturstigning være med til at mindske den sæsonmæssige variation i næringsstoffdynamikken. En temperaturstigning vil således under alle omstændigheder påvirke de biologiske forhold i søerne i både positiv og negativ retning.

Et eksempel på en negativ effekt af en temperaturstigning er øget indvandring og reproduktion af græskarper syd fra. Græskarper medfører, pga. deres fødesøgningsstrategi og fødevalg mindre klart vand, fordi predationstrykket på det store dyreplankton øges. Derved er der færre dyreplankton til at holde mængden af planteplankton nede og vandet bliver derfor mindre klart. Dette medfører tab af vandplanter, som betyder tilbagegang for rovfisk, som gedde og aborre. Gedde og aborre er afhængig af vandplanterne til beskyttelse af deres yngel og til skjul ved jagt på mindre fisk.

Modsat kan en positiv effekt af øget temperatur være at vandplanterne begunstiges af en tidligere og længere vækstsæson. Vandplanter i søer er vigtige for at fastholde en klarvandet tilstand, specielt i lavvandede søer.

Mere nedbør og ændret nedbørsmønster (-15 % (sommernedbør) - +21 % (max døgnetnedbør))

Det ændrede nedbørsmønster vil, ligesom for andre økosystemer, kunne medføre øget risiko for udvaskning af næringsstoffer og dermed forringet miljøtilstand. Men den endelige effekt af øget nedbør påvirkes også af faktorer, som ikke direkte har med klimaet at gøre, herunder søernes dybde, oplandets størrelse og arealudnyttelse og søens geofysiske forhold. Effekten af de ændrede nedbørsforhold illustreres ved forskelle der tidligere er observeret mellem tørre og våde år i Danmark. For eksempel var der i de tørre år 1996 og 1997 en mindre udvaskning af næringsstoffer og betydeligt bedre miljøtilstande blev observeret i mange marine områder. Nedbørsmængden er således ikke alene af betydning for søerne direkte, men også for det marine miljø, som er i forbindelse med søerne via vandløbene.

Flere ekstreme vindhændelser (maximum stormstyrke + 1 % - +10 %)

Mange danske vandområder er meget lavvandede. Halvdelen af de danske søer har eksempelvis en middelvandsdybde under 1,6 m. De lavvandede forhold betyder at vinden ofte fører til ophvirvling af materiale fra bunden (resuspension). De generelt næringsrige forhold i de danske vandområder har ført til, at der mange steder ligger et løst lag døde alger mm. på overfladen af bunden, som let ophvirvles. Øget vind og eventuelt flere ekstreme vindhændelser kan føre til øget resuspension, som dels nedsætter lysgennemtrængeligheden i søvandet og dels øger næringstoftilgængelighed, som igen kan øge algevæksten/primærproduktionen. Begge faktorer øger beskygningen af vandplanterne og mindsker derved vandplanternes positive indvirken på miljøtilstanden.

Klimaeffekter på det ferske vandmiljø – kort

De største problemer i forbindelse med klimaeffekter på søernes biologi og vandkvalitet relaterer sig til en øget næringstoftilgængelighed, pga. øget udvaskning, flere ekstreme vindhændelser, forbedrede livsvilkår for græskarper mv. Det vil dog fortsat være den eksisterende næringstofbelastning fra oplandet, der generelt har størst betydning for miljøtilstanden.

- Vækstsæsonen forlænges
- Primærproduktionen øges
- Omsætningshastigheden stiger
 - Konkurrenceforholdene mellem arter ændres

- Adfærdsmønstre (fenologi) ændres og risikoen for at fødekæder/økosystemer kommer ud af fase stiger
- Arter med ringe mobilitet, lav genetisk diversitet mv. vil gå tilbage, robuste arter og mere almindelige vil gå frem
- Arter på deres nordlige udbredelsesgrænse i Danmark vil gå frem, mens de på den sydlige grænse vil gå tilbage
- Arter syd fra indvandrer
- Øget erosion og sandvandring i vandløbene om vinteren
- Forringede levevilkår for laksefisk, gedder, aborrer (rovfisk) og padder
- Forbedrede leveforhold for græskarper

Klimaeffekter på det marine miljø

Havet dækker 70 % af jordens overflade og er af vital betydning for bl.a. jordens klima og biodiversitet. Ændres klimaet så ændres også en lang række biologiske - og ikke biologiske faktorer i havet. Havstrømme er f.eks. afgørende for spredning og opretholdelse af den biologiske mangfoldighed og for strukturerne i marine økosystemer. Dynamikken i vandsøjlen er af betydning for stoftransporten både lateralt og horisontalt og dermed for den biologiske struktur og fødenettene i de frie vandmasser og ved bunden. Dynamikken i vandsøjlen er ligeledes en væsentlig parameter i forhold til f.eks. opståen af iltsvind.

De danske farvande er et overgangsområde mellem brakt Østersøvand, der er påvirket af ferskvandstilstrømning fra land og Nordsøen, der er under påvirkning af storskala cirkulationen i Atlanterhavet og dets salte oceaniske vand. Disse forskelle i saltholdighed (salinitet) har stor indflydelse på artssammensætningen og udbredelsen af dyr og planter i vore farvande. Ydermere er havområderne relativt lavvandede og især de indre danske farvande påvirket af næringstilførsel fra land der forøger forekomst og udbredelse af bl.a. iltsvind.

Som andre økosystemer er marine økosystemer udviklet som et komplekst samspil mellem dyr og planter og de geokemiske faktorer. Klimaet har stor betydning for dette samspil, men forskningen i konsekvenserne af mulige klimaforandringer på det marine miljø i de danske farvande er beskedent. De arter som højst sandsynligt vil opleve de største forandringer i forekomst, er generelt de arter som er tæt ved deres geografiske udbredelsesgrænser og som allerede nu oplever stress som følge af variationer i temperatur, salinitet og iltkoncentration.

De forhold, som har størst betydning for de fysiske og biologiske forhold i havmiljøet er:

- Øget afstrømning fra vandløb udløst af øget nedbør og større nedbørsintensitet.
- Øget lufttemperatur
- Ændrede vindforhold
- Øget vandstand

Øget temperatur og effekter på havets plante- og dyreliv (+ 0,7 °C - + 4,6 °C)

Klimamodeller fremskriver højere temperatur specielt i vintermånederne i de kommende 100 år samtidigt med mere nedbør. Dette kan have konsekvenser for tilstanden og den biologiske struktur i vandmiljøet. Simple forudsigelser peger på en udskiftning af arter, således at nordlige arter udskiftes med mere sydlige arter. Vi kan dog ikke forvente en simpel "flytning" af de eksisterende klimazoner, fordi lysforholdene ikke ændres tilsvarende. I modelsimuleringer fra Kattegat (Edelvang et al. 2001) blev det forudsagt, at algernes

produktion ville øges pga. af en direkte temperaturinitieret algevækst og især som følge af en øget næringsstoffrigivelse fra sedimenterne. Sammenlignet hermed var effekten af øget nedbør og næringstilførsel via afstrømning betydeligt mindre.

Forudsigelser af klimaeffekter i havet er generelt vanskelige, fordi de enkelte processer i fødenettet påvirkes forskelligt af temperaturen og fordi øget nedbør og afstrømning, ændrede vindforhold og reduceret solindstråling også vil være en del af fremtidens klima. Temperaturstigning påvirker både fysiske, kemiske og biologiske processer med en forøget proceshastighed. Betydningen af en forøget vintertemperatur på den biologiske struktur, og balancen imellem den autotrofe (alger) og heterotrofe (bakterier og dyr) aktivitet er undersøgt i CONWOY-projektet. Det viser sig at temperaturen har den største effekt på bakterierne. Resultaterne af disse undersøgelser viser, at temperaturøgningen i havet alt andet lige vil øge nedbrydningsprocesserne i vandet. For tempererede farvande som de danske vil højere vintertemperaturer betyde, at græsning og nedbrydning af algeproduktionen om foråret bliver mere effektiv. En konsekvens kan blive, at næringsstofferne bibeholdes i vandet og at nedsynkningen af iltforbrugende organisk stof til bunden mindskes. Således kan temperaturstigningen isoleret set vise sig gavnlig for vandmiljøet. Klimaeffekter er dog mere end blot en øgning af temperaturen og i modelundersøgelser må der også tages hensyn til påvirkning af ændret nedbør, solindstråling og vindforhold.

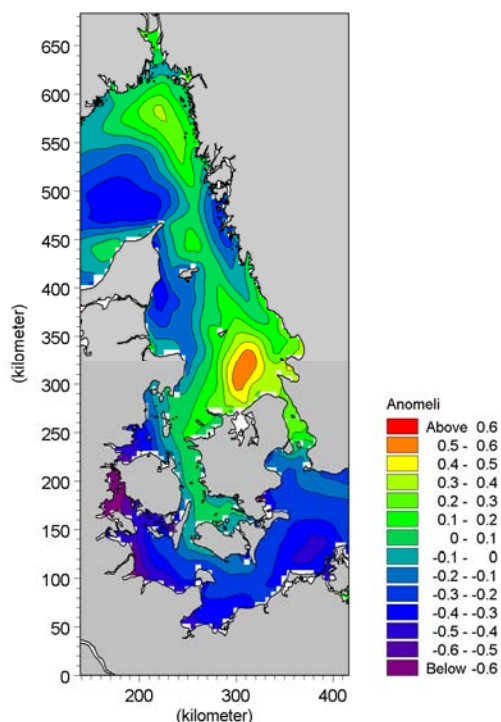
Primærproduktion

Primærproduktionen i de danske kyst- og havområder er styret af temperatur og næringsstofftilførsel. Da der i et fremtidigt klima forventes såvel en stigning i vandtemperaturen som en stigning i udvaskningen af næringsstoffer fra land, forventes primærproduktionen at blive påvirket. Modellsimuleringer med Vandudsigten (<http://www.vandudsigten.dk>), der er en regional model for de danske farvande, Østersøen og Nordsøen forudsiger, at den øgede afstrømning af næringssalte til vandmiljøet medfører, at vinterværdierne for uorganisk kvælstof i år 2075 i forhold til i dag vil være 1-5 % højere i åbne farvande og op til 20 % højere i fjorde og kystnære farvande (Edelvang et al. 2001). Ligeledes viser modelberegningerne, at vandmiljøet bliver væsentligt påvirket af temperaturstigning, bl.a. fordi alle biologiske processer i vandfasen forventes at accelerere, hvilket resulterer i en generel stigning i produktionen af algeplankton i hele modelområdet på op til 10 % i de åbne farvande. Derudover viser beregningerne en væsentlig øget produktion i de mere lavvandede områder, der ligger tættest på ferskvandskilderne og dermed næringsstofftilførslen.

En temperaturstigning vil endvidere øge fordampningen fra land, og alt andet lige vil det forøge tilførslen af kvælstof til havmiljøet via luften. I dag udgør den luftbårne tilførsel af kvælstof til havmiljøet 30 % af den totale tilførsel.

Bundfaunaen og iltvind

I de indre danske farvande og i den centrale Østersø er bundfaunaen særlig følsom overfor klimaændringer. Specielt Østersøen er i høj grad påvirket af ferskvandstilførslen fra de omkringliggende floder, der forventes at stige med øgede temperaturer og nedbør. De meteorologiske forhold er afgørende for forekomsten og styrken af større saltvandsindbrud (SSI) til Østersøen. Øget ferskvandstilledning har en negativ effekt på styrken, temperaturen er neutral, men større vindhastigheder har en positiv effekt.



Figur 1. Gennemsnitlig årlig ændring i saltholdighederne mellem scenario- og kontrolperioden i overfladevandet for de indre danske farvande (fra *Vand og vejr om 100 år*).

De seneste beregninger med Vandudsigten udført i forbindelse med klimaeffektprojektet CONWOY (www.conwoy.ku.dk) der udgives i *Vand og vejr om 100 år* viser netop, at Østersøen generelt bliver mere fersk, og temperaturen ved havbunden stiger med følgende øget iltforbrug. SSI'er er imidlertid en relativt sjælden begivenhed, og da frekvens og styrke af SSI ikke ændres, vil saliniteten ligeledes falde ved havbunden. Desuden viser modelsimuleringer af to 10-års perioder at de generelle iltforhold forventeligt bliver forværret.

Fisk

Fisk er et væsentlig element i det marine økosystem. I de danske farvande findes omkring 250 arter.

De parametre som er afgørende for fisks forplantning og overlevelse er ikke velkendte, hvorfor en forudsigelse af klimaeffekten på fisk ikke er ligetil. Der er dog to overordnede effekter, som kan forventes:

- For det første vil overlevelse, vækst og reproduktion af fiskearter, som i øjeblikket findes i danske farvande, ændres i takt med at temperaturen stiger og saliniteten falder. Disse forandringer vil være gavnlige for nogle arter og skadelige for andre. Den relative mængdemæssige fordeling af arter, som i øjeblikket lever i de danske farvande, vil derfor forandre sig.
- For det andet vil fiskepopulationernes artssammensætning forandres, efterhånden som ændringer i salinitet og temperatur bliver markante. Fiskearter kommer ind syd fra og vi kan formodentlig forvente flere endnu, samtidig med at de eksisterende arter vil blive sjældnere eller uddø lokalt. Hvad der i øjeblikket ikke er entydigt klart, er hvilke arter der vil migrere til eller forsvinde fra et område og hvorvidt fiskepopulationerne overordnet set vil undgå markante ændringer mht. diversitet og biomasse. Det er heller ikke enkelt at sige hvordan klimaforandringerne vil påvirke den genetiske mangfoldighed indenfor den enkelte art. Den genetiske mangfoldighed er en vigtig faktor for en arts eller populations mulighed for tilpasning og overlevelse, jo bredere eller mere mangfoldigt en bestands genetiske materiale er jo større chancer har den givne population for at overleve.

I Bælthavet kan ændringer i iltsvindsfrekvensen få en kraftig og negativ indvirkning på den demersale fiskebestand, da en væsentlig del af fødegrundlaget vil forsvinde i følge DMU's iltmodel.

Fiskefaunaen i Østersøen anses som sagt for at være særlig følsom overfor temperaturstigning, ændringer i salinitet og iltindhold, fordi Østersøen allerede har en lav mangfoldighed af fisk sammenlignet med f.eks. Nordsøen. De arter, som nu er dominerende i Østersøen (torsk, sild og brisling) er på kanten af deres temperatur og /eller salinitetstolerancegrænse. Øget lagdeling, som et resultat af lavere salinitet og en stigning af temperatur vil i sig selv medføre en kraftig stigning i iltsvindshyppigheden i specielt de indre danske farvande og de centrale dele af Østersøen, hvor iltkoncentrationen i "iltsvindssæsonen" kan forventes at være ca. 30 % lavere end i dag ifølge DMU's iltmodel. Dette vil ikke kun ramme fødegrundlaget for fisk, men også reproduktionen, hvor specielt torskebestanden i Østersøen er følsom overfor salinitet og iltforhold. Varmere, ferskere betingelser og forandringer i den regionale cirkulation forårsaget af klimaforandringer kan være alvorlig for torskens reproduktionssucces i disse områder.

Meget tyder på at klimaændringer og fiskeri i visse tilfælde gensidigt kan forstærke ændringerne i områdernes struktur og produktivitet, således som det kommer til udtryk i forhold til bl.a. torskebestandene i området. Det kan være endnu en grund til at få overfiskede bestande bragt indenfor biologisk sikre grænser. Der er allerede nu flere eksempler på nye arter i danske farvande som er vandret ind fra syd. Der henvises i øvrigt til baggrundsrapporten om fiskeri.

Fugle

De lavvandede farvande omkring Danmark er af afgørende international betydning som rasteplasser for trækkende og overvintrende bestande af vandfugle. EF-fuglebeskyttelsesområderne er udpeget for at beskytte disse bestande. Det er dokumenteret, at en lang række fuglearter har en betydelig forøget mortalitet i forbindelse med hårde vintre, det gælder f.eks. ansvarsarterne skarv, knopsvane, kortnæbbet gås og lysbuget knortegås. En temperaturstigning vil således muligvis forbedre en lang række af disse arters overlevelse i vinterhalvåret. Da langt størstedelen af vandfuglene raster i landet forår/efterår og/eller overvintrer, er selv en temperaturstigning på 1 - 2°C i midvinterperioden december-februar derfor interessant. En forøget overlevelse af flere af bestandene er i princippet positiv, hvis bestandene skal være større end nu. Men for en række arter kan man forestille sig en forøget konflikt, f.eks. mellem fiskeriet og skarverne (skader på fisk og redskaber) og mellem landbruget og arter som kortnæbbet gås og knopsvane (græsningsskader på især vinterafgrøder). Derudover kan en forøget vinteroverlevelse potentielt få negative følger for fuglenes yngleområder (Wilhelmudvalget 2001/Kim Gustavson 2001).

Mere iltsvind

Som beskrevet ovenfor er en temperaturforøgelse en væsentlig parameter i forhold til primærproduktionen, bundfauna, fisk og fugle, og udvikling af iltsvind. Iltsvind udgør et problem for økosystemerne på havbunden. Ikke alene slår de enkelte iltsvindsforekomster dyr og planter ihjel i det område iltsvindet forekommer. Også omfanget og hyppigheden af iltsvindet svækker faunaens chancer for rekolonisering af et tidligere iltsvindsområde (Hansen et al. 2004). Det betyder at mulighederne for reetablering af økosystemerne efter iltsvind forringes med hyppigheden og omfanget af iltsvind (Kjerulf et Hansen 2005).

DMU's forsøg med en iltsvindsmodel - Udbredelse af iltsvind i indre danske farvande efter indførelse af Vandrammedirektivet med en 30 % reduktion i havets næringsstoffkoncentration i forhold til i dag.

Modelforsøget viser, at de områder af havbunden der rammes af iltsvind i år 2100 er de samme som rammes i dag, nemlig den vestlige Østersø, Det sydlige og Nordlige Lillebælt, Bælthavet og det Sydlige Kattegat. Områderne bliver generelt meget større. Specielt i det Nordlige Bælthav vil episoder med iltsvind optræde hyppigere end i dag.

Model + 2,7 °C i perioden 2040 – 2100:

Denne model viser forventede arealer påvirket af iltsvind i Bælthavet i september.

Moderat iltsvind hvor fisk flygter (< 4mg/l) vil stige med en faktor 2,5 i forhold til i dag.

Arealet øges fra 15.000 km² til 36.000 km².

Kraftigt iltsvind hvor fisk dør arealer vil (< 2 mg/l) øges fra 350 km² til 810 km².

Model + 3,1 °C i perioden 2040 - 2100:

Denne model viser at det berørte områdes areal vil stige med en faktor ca. 5 gange større end det var i år 2002, hvis der sker en generel eutrofiering med en 10 % forøgelse af primærproduktionen vil arealer med kraftigt iltsvind (< 2mg/l) øges i september og når henholdsvis 536 km² og 4200 km²

Effekten af øget nedbør (-15 % (sommernedbør) - +21 % (max døgnedbør))

Klimaændringerne antages, som nævnt, at give en øget nedbør og afstrømning til havet især i vinterhalvåret. Specielt vil et øget ferskvandsafløb bevirke at overfladelaget i Østersøen og de indre danske farvande bliver mindre saltholdigt. Herved bliver lagdelingen i de danske farvande kraftigere end den er i dag og den vertikale opblanding reduceres. Dette kan bl.a. medføre en øget frekvens af iltsvind i de indre danske farvande, hvilket kan forstærkes ved den medfølgende øgede mængde næringsstof til overfladevandet (Kjerulf et Hansen 2005).

Afstrømning fra landjorden påvirkes også af landbrugsarealet og landbrugspraksis. Udviklingen i de østeuropæiske lande der grænser op til Østersøen bliver en vigtig, men ukendt faktor. En øget landbrugsproduktion efter vestlig model vil yderligere øge belastningen med næringsstoffer til havmiljøet.

Tang og ålegræs

Blomsterplanter (især ålegræs) og tang (makroalger) når i danske kystområder ud til 6 til 30 meters dybde. De fremtidige klimaændringer forventes at påvirke både de artsrige samfund af makroalger og ålegræsbestandene, med effekter som vil forstærke de allerede kendte effekter af eutrofieringen. Lavere saltholdighed, større næringsstofkoncentrationer og mindre tilgængeligt lys betyder, at der vil blive færre forskellige arter og funktionelle former af makroalger i samfundene. Artsantallet falder med faldende salinitet. De gennemførte modelscenarier peger på en fremtidig reduceret salinitet på op til 2,5 promille i de indre danske farvandes overfladevand. En sådan ændring vil i sig selv medføre en tilbagegang for antallet af arter i de forskellige danske farvandsafsnit over springlaget.

Effekterne opstår når en øget mængde planktonalger i vandmasserne mindsker den mængde af lys som kan trænge ned gennem vandsøjlen til planterne på havbunden, som i øvrigt producerer ilt og omsætter næringsstoffer. Planterne medvirker til en god vandkvalitet og gode levevilkår for andre planter og dyr.

Med en formindsket lysgennemtrængning følger en reduktion af areal med passende livsforhold for en lang række arter. Da der eksisterer en sammenhæng mellem arealstørrelse og artsantal vil en reduktion i areal medføre et fald i antal arter. Arealet, der er til rådighed for kolonisering af makroalger, bliver mindre, når lysnedtrængningen i vandsøjlen svækkes pga. planteplanktonets skyggevirksomhed.

En stigende vandtemperatur kan dog tænkes at få en vis positiv effekt på artsrigdommen i makroalgensamfundene. Men de potentielt positive effekter i form af større artsrigdom antages langt at blive

opvejet af de negative effekter som følge af øget afstrømning, næringsbelastning og beskygning (Wilhelmudvalget 2001/Kim Gustavson 2001).

Fugle

For fuglene vil en øget nedbør umiddelbart betyde påvirkninger fra den øgede eutrofiering, som vil have negative effekter. En lang række fjordområder er i forvejen belastet af eutrofiering, hvor effekter på bundvegetationen og dermed fødegrundlaget for en række vandfuglearter er kendt. Det er især ansvarsarterne knop-, sang- og pibesvane, de to bestande af knortegæs samt pibeand og spidsand, som kan tænkes at blive påvirket. Særligt er visse fjord områder og det Sydfynske Øhav samt Nibe/Gjøl Bredninger blevet ramt eutrofieringsbetingede ”nulstillinger” af fødegrundlaget for planteædende vandfugle. I forhold til de forventede effekter er det især den forøgede eutrofiering der kan få en ganske negativ effekt på bundvegetationen i en lang række områder, der er udpeget som Ramsar- og/ eller EF-fuglebeskyttelsesområder og reservater (Wilhelmudvalget 2001/Kim Gustavson 2001).

Vandstandsstigning (+0,20 m - +1,05 m)

Prognosen for vandstandsændring de kommende 100 år varierer meget afhængig af model og scenario. DMI opererer med en global havniveaustigning på 0,15 til 0,75 m. Stigningen i danske farvande afhængig af hvilket scenario man tager udgangspunkt i ligger mellem 0,20 og 1,05 m.

I ATVs rapport om Effekter har taget udgangspunkt i en 0,5 m stigning i løbet af de næste 100 år.

I forbindelse med det trilaterale samarbejde om Vadehavet er der blevet arbejdet med flere scenarier for vandstandsændringer. Man valgte en havspejlstigning på 25 cm på 50 år, som det meste realistiske. I dette scenario blev det vurderet, pga. Vadehavets tilpasningsevne, at forandringerne af økosystem (morfologi og biologi) ikke bliver betydelige. Et ”worst case” scenario (vandstandsstigning på 50 cm på 50 år) vurderer at Vadehavets tilpasningsevne vil blive opbrugt og at morfologiske forandringer vil påvirke biologien alvorligt. Vandstandsstigningen vil direkte gå ind og påvirke kystlinien og lavvandede økosystemer samt marskområder og strandenge. Afhængigt af stigningens størrelse vil lavtliggende arealer som strandenge, vader og sandbanker blive oversvømmet og ændre afgørende karakter. Således vil de lavvandede kysthabitater formodentlig påvirkes og med dem den flora og fauna som lever hér. DMU har udarbejdet et notat om effekten af vandstandsstigningen for sæler, se boks.

Sælerne i danske farvande - Effekter af 0,5 vandstandsstigning på sælers brug af landgangspladser

DMU har foretaget en konkret vurdering af sælernes landgangspladser topografi, type og reservatstatus. Det er vurderet, om sælerne har alternative landgangsmuligheder, hvis vandstanden stiger, dvs. om sælerne kan forblive i området, og om der vil være behov for justering af reservatgrænser. Vurderingen er foreløbig, og der er uvished om bl.a. vandstandsstigninger vil påvirke sedimentationen, så der vil opstå nye rev, mens andre pladser oversvømmes eller eroderes.

Der er listet 28 større, regelmæssigt benyttede landgangspladser for sæler (primært spættet sæl) i Danmark. I alt 12 områder er i dag omfattet af en reservatordning, specielt udlagt af hensyn til sæler.

Det fremgår af vurderingen at i:

- 14 områder - vil sælerne kunne finde alternative landgangspladser
- 6 områder - er det uvist om sælerne vil kunne finde alternative landgangspladser
- 8 områder - er det usandsynligt at sælerne vil kunne finde alternative landgangspladser
- 8 reservater - vil der være behov for væsentlige justeringer af reservatgrænser
- 4 reservater - vil der ikke være behov for justeringer, heraf risiko for at 2 områder forsvinder

Specielt små, isolerede stenrev vil med stor sandsynlighed blive oversvømmet helt, hvorefter sælerne ikke har alternative liggepladser i det pågældende område. (Teilman et Madsen, unpubl.)

Klimaeffekter på de marine økosystemer – kort

- Øget lufttemperatur
 - Primærproduktionen øges
 - Proceshastigheden stiger
 - Ændrede konkurrenceforhold mellem arterne (ex fisk og fugle)
 - Forbedrede etableringsmuligheder for invasive arter (se afsnit om klimaeffekter på tværs)
 - Nordlige arter udskiftes med mere sydlige arter
- Øget nedbør og dermed øget afstrømning og udvaskning af næringsstoffer fra floder og vandløb
 - Faldende salinitet i indre danske farvande og Østersøen
 - Hyppigere iltsvind i de indre farvande og Østersøen
 - Større arealer ramt af iltsvind (eks. iltvindsmodel)
- Ændrede vindforhold
- Øget vandstand
 - Påvirkning af lavvandede økosystemer
 - Risiko for tab af levesteder for planter og dyr (i lavvandede områder)
- Samlede effekter
 - En forventet faldende artsdiversitet
 - Øget eutrofiering af indre farvande
 - Reduktion af bundfauna og fødegrundlag

Kapitel 2 – Indsatsområder ...

... indenfor naturforvaltning

Naturens funktioner og ydelser er mange og af omfattende betydning for menneskets eksistens (Costanza et al. 1997). Samtidig er presset på naturens mangfoldighed stort. Klimaændringen, hvis effekter er usikre pga. feedbackmekanismer mellem natur og klima, koblede mekanismer og synergieffekter påvirkningerne imellem har øget dette pres. Klimaeffekterne på naturen omfatter generelt destabilisering af økosystemer, indvandring af nye arter, forbedrede leveforhold for introducerede arter, øget erosion, mismatch i arternes adfærdsmønstre (fenologi), øget frigivelse af næringsstoffer mv. Tiltagene indenfor naturforvaltning til minimering af de negative effekter af klimaforandringen omfatter aktiviteter, hvis målsætning er at bevare og genoprette oprindelige økosystemer, forvalte habitater for sjældne og truede arter, samt bevare økosystemers funktioner og ydelser (Loreau et al. 2001; Hannah et al. 2002).

Internationale konventioner og direktiver som Biodiversitetskonventionen, EF-Habitatdirektivet, Bonn- og Bern-konventionerne m.fl. forpligter de underskrivende lande og herunder Danmark 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 vi skal forholde os til, dæmpe (mitigate), tilpasse os og planlægge for evt. kommende effekter af klimaforandringen (Meir et al. 2004; Fankhauser et al. 1999).

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 (Tol et al. 1998; Hannah et al. 2002). Dette vil indebære en række tilpasninger som f.eks. (se figur 1):

- Udpegning af større levesteder
- Sikring af spredningskorridorer (Haddah et al. 2003)
- Minimering af øvrige stressfaktorer, såsom f.eks. habitatødelæggelser, fragmentering, luftforurening.
- Tilpasning af lovgrundlaget, miljøkonsekvensvurderinger mv.
- Videnoparbejdning om økosystemer, klimaeffekter, feedback mekanismer mv.

I det følgende præsenteres nogle eksempler på, hvordan man gennem konkret handling i naturforvaltningen kan støtte naturens robusthed og tilpasningsevne:

- **Naturgenopretning (minimering af stressfaktorer):** Områder, der uafvendeligt vil blive påvirket af klimaændringerne, kan indgå i et program for naturgenopretning, således at man får mest natur for pengene ud fra de naturlige forudsætninger. For eksempel ådale, som ikke længere kan afvandes, kystnære områder, som vil blive oversvømmet eller eroderet. Programmet kan indgå i en naturplanlægning, som udarbejdes i samspil med de erhverv, som påvirkes, typisk landbruget. Ådalene

spiller endvidere en central rolle som spredningskorridorer og buffer i landskabet for vand, omsætning af næringsstoffer mv.

- **Større naturområder mere sammenhæng i naturen (sikring af genetisk diversitet):** En mere robust natur skabes bl.a. gennem etablering af spredningskorridorer, faunapassager mv. og ved etablering af større sammenhængende naturområder som forbindes med brede korridorer. Spredningsmuligheder og beskyttelse af økologiske sammenhænge er relevante både på land og i den marine natur (Hanski 1998; Rodrigues et Gaston 2001).
- **Invasive arter (minimering af øvrige stressfaktorer):** Overvågning af invasive arter og udarbejdelsen af en handlingsplan som prioriterer og planlægger indsatsen for at forebygge at invasive arter indføres og spredes i naturen og som redskab for det tilfælde at et tidligere indført art udvikler sig invasivt.
- **Artssammensætningen (videnoparbejdning):** Ændres klimaet i retning af højere temperaturer kan det forventes at arter der i dag har den nordlige udbredelsesgrænse syd for Danmark vil indvandre hertil, mens arter der har sydlig udbredelse vil fortrænges. Det bør indgå i artsforvaltningen at nye arter vil indvandre og arter vil forsvinde, ligesom det bør klarlægges, hvilken betydning dette har den givne arts globale status.
- **Naturovervågning (videnoparbejdning):** Det nuværende system kan vise ændringer som følge af klimaændringer, men man bør overveje at udbygge med en række parametre, særligt på havområdet, fx en bredere overvågning af fiskebestande og af invasive arter. Et udbygget regionalt samarbejde om overvågningen af klimaeffekter på naturen indgår bl.a. i den europæiske havstrategi, og kan overvejes også i relation til EU's naturdirektiver, i nordisk samarbejde eller som en kombination.
- **Naturpleje (minimering af øvrige stressfaktorer mv.):** Eftersom det meste danske natur er kulturpåvirket, er der en glidende overgang mellem naturpleje og driftsformer, særligt i land- og skovbrug. Naturpleje kan på kort sigt tages i anvendelse for at sikre naturtyper, som ellers ville vokse til eller være i fare for at forsvinde på anden måde. På langt sigt vil naturpleje næppe kunne løse problemerne og de pågældende hensyn kan derfor med fordel indarbejdes i de former for drift, der anvendes i de forskellige erhverv på de respektive arealer.
- **Bedre fysiske forhold i vandløbene (minimering af øvrige stressfaktorer):** Forbedringer af vandløbene i form af fjernelse af spærringer, genslyngning og en mere naturvenlig oprensning vil give vandløbene bedre muligheder for selv at tilpasse sig de klimamæssige ændringer, samt opgivelse af omdriften af vandløbsnære arealer (Kronvang et al. 1999) og tillade opvækst af høj vegetation, som træer og buske langs vandløbene for at dæmpe temperaturudsvingene i vandløbene.
- **Sikring af alternative naturarealer (minimering af øvrige stressfaktorer mv.):** Strandenge, vadeflader, lavvandede områder mv. vil kunne gå tabt som følge af havstigningerne, og man bør derfor gennem den fysiske planlægning og gennem naturplanlægning sikre, at der genskabes alternative arealer med disse naturtyper. Det kan f.eks. ske ved at naturen tillades at "rykke baglæns" ind i landet, f.eks. ved

at landbrugsdriften viger for naturen. Teknologirådets rapport, ”Når havet stiger – nyt klima – nyt liv”, arbejder med effekter af den 0,5 m vandstandsstigning. Her vurderes det, at man skal give naturens frie dynamik høj prioritet i fremtidig planlægning af naturforvaltning, at store inddigningsprojekter ikke er løsningen og at man generelt ved at inddrage lokale interessenter kan skabe de bedste muligheder for fremtidige tilpasningsstrategier.

... og i de andre sektorer

Ikke kun i forvaltningen af naturen er en klimatilpasning relevant. Også indenfor de sektorer som direkte eller indirekte påvirker natur og miljø i den enkelte sektors klimatilpasningsarbejde er det hensigtsmæssigt at integrere miljøhensynet i tilpasningen. Herunder ligger også tilpasningen i lovgrundlaget, diverse støtteordninger og tiltag som forsøger at dæmpe årsagen til klimaforandringen ved at bl.a. at arbejde med reduktionen af udslippet/emissionen af drivhusgasser, samt diverse initiativer, hvis hensigt det er at optage CO₂ i såkaldte ”sinks”, f.eks. gennem skovrejsning (se figur 1).

Natur- og Miljøneutral Klimatilpasning i øvrige sektorer

Tilpasningen til klimaændringerne vil på flere samfundsområder kunne have effekter på natur og miljø. Strategien for klimatilpasninger må derfor tilrettelægges således, at tilpasningerne indenfor de enkelte sektorer vælges ikke bare under hensyn til sektorens egne formål, men også under hensyn til andre samfundsmæssige formål, herunder beskyttelsen af miljø og natur.

I jordbruget vil der f.eks. muligvis umiddelbart blive et øget forbrug af pesticider 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. længere vækstsæson og større spredning, flere skadedyr og andre dyrkningsafgrøder (MICE 2004), eller for indførelse af flere udenlandske træarter. På sundhedsområdet kan der blive behov for øget bekæmpelse dyr, fugle eller andre organismer, der medvirker til overførsel af sygdomme. I kystforvaltningen kan der blive behov for udbygning af diger eller anden form for kystsikring.

Før sådanne klimabetingede ændringer iværksættes bør man huske, at en række erhverv og andre samfundsmæssige aktiviteter er afhængige af en god natur- og miljøkvalitet, herunder at naturen fortsat har muligheder for at tilpasse sig klimaændringerne. Særligt primærerhvervene har en oplagt interesse i at tilpasningerne til et klima i ændring sker under hensyntagen til biodiversiteten og naturen som funktionel basis. Der bør således på længere sigt ske en tilpasning af kravene til nationale VVM-redegørelser og miljøkonsekvensvurderinger til fremtidens udfordringer på klimaområdet (Hannah et al. 2002).

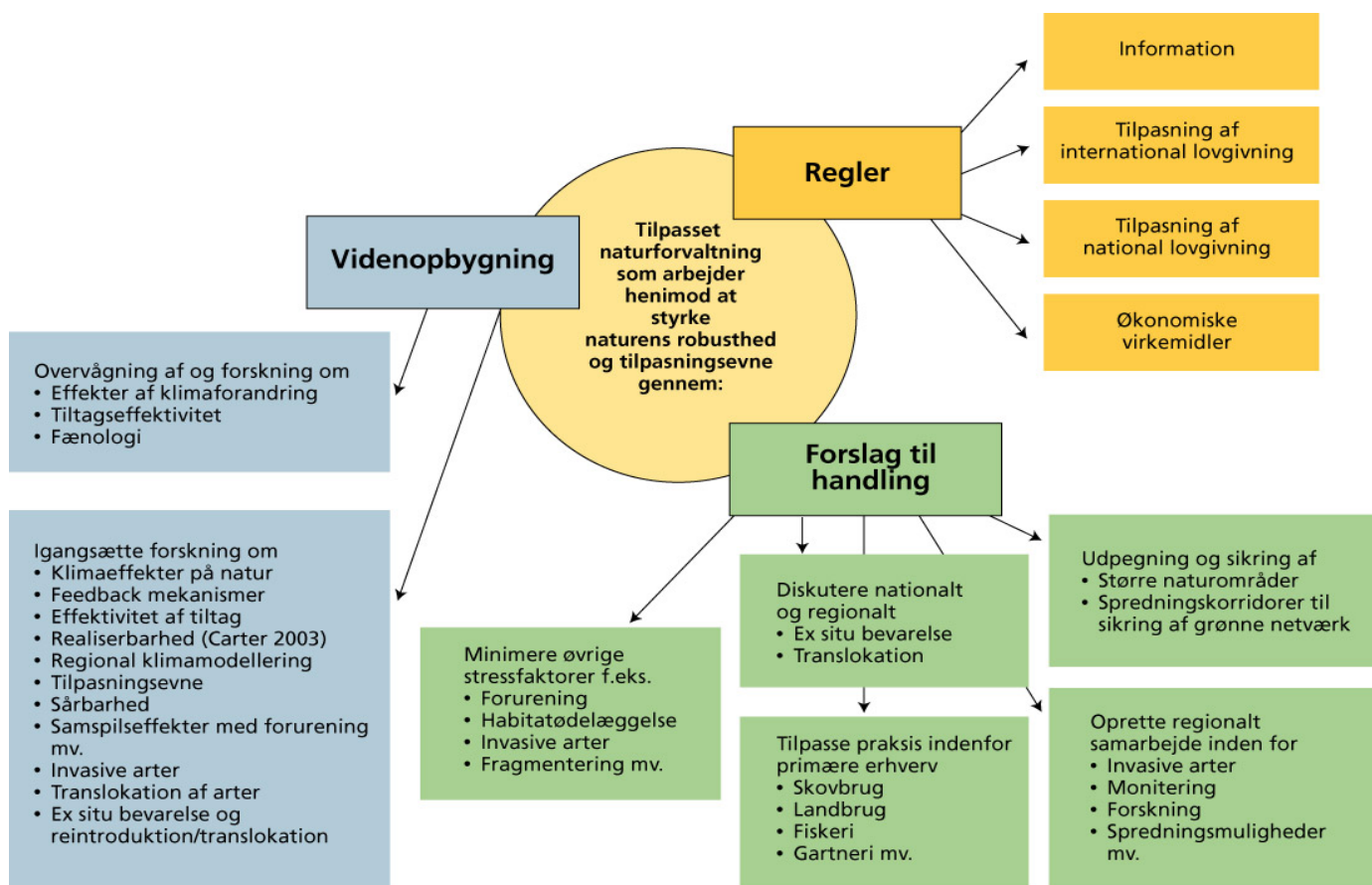
Det er således relevant både at belyse konsekvenserne for natur og miljø i den nuværende situation og at belyse virkninger under et ændret klima i de tilfælde, hvor anlægget eller tiltaget rækker længere ud i fremtiden. En dansk strategi for klimatilpasninger bør således omfatte en ordning med obligatorisk vurdering af konsekvenserne for natur og miljø af sektorernes klimatilpasningsinitiativer, evt. kombineret med en screeningsordning med bagatelgrænse. Dette kan formentlig i høj grad sikres gennem eksisterende ordninger på planlægningsområdet og i naturbeskyttelsesloven, men behovet for supplerende ordning bør vurderes nærmere.

Lovgrundlag

Naturforvaltningen er tilrettelagt i en række love og bekendtgørelser, som administreres af Miljøministeriet, men også en række andre sektorministerier har lovgivning, som har stor betydning for forvaltningen af natur og miljø. Klimaeffekterne bør inddrages i fremtidige analyser og revisioner af lovgrundlaget, således at det sikres, at disse ikke stiller sig hindrende i vejen for opfyldelsen af målsætningerne i de pågældende love. Dette ses som et vigtigt skridt på vejen til en integrering af klimaeffekter i forvaltningen af de enkelte sektorer. Der kunne f.eks. være behov for at tage hensyn til klimaeffekterne ved revisionen af Vandmiljøplanerne, og i den forbindelse overveje nationale og internationale målsætninger, virkemidler, tidsperspektiver mv. Et andet eksempel er Natura 2000 planlægningen og vandplanlægningen, som bør forholde sig til klimaændringerne i forbindelse med vurderingen af bevaringsstatus og økologisk tilstand, således at man på den ene side får relevant information om hvordan naturen udvikler sig, herunder artsdynamikken og udviklingen af naturtyperne, på den anden side vælger en strategi for indsatsen i naturforvaltningen, som ikke bruger alt sit krudt på uimodståelige ændringer.

Dæmpende aktiviteter

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 Development, CDM) eller ved at skabe såkaldte dræn (sinks), som optager CO₂. I forbindelse med sådanne, ofte meget omfattende og dyre initiativer, er det hensigtsmæssigt, at der tages højde for de natur- og miljømæssige konsekvenser. For at sikre bevarelsen af naturen og en bæredygtig anvendelse heraf er det derfor vigtigt, at identificere de negative effekter på natur og miljø af initiativer og programmer, således at disse effekter kan undgås eller minimeres. Således bør der, gennem samarbejde mellem projekter vedrørende dæmpende foranstaltninger af forskellig art, sikres at tiltag og aktiviteter går hånd i hånd, med henblik på at opnå synergieffekter og at projekterne som et minimum ikke modarbejder øvrige målsætninger.



Figur 1. Klimatilpasset naturforvaltning (fra *Nordisk Naturforvaltning i et ændret Klima*)

Mulighederne for klimatilpasning indenfor naturforvaltningen og de primære erhverv er mange – de falder dog indenfor tre områder; nemlig styrkelse af naturens egen klimatilpasningsevne, Natur- og Miljøneutral Klimatilpasning i øvrige sektorer gennem revision af regler og love og videnoparbejdning til sikring og optimering af klimatilpasningstiltag.

Støtteordninger

En række ordninger er etableret med henblik på støtte af primære erhvervene. Til ordningerne er der knyttet en række kriterier, der skal opfyldes for at få støtte, men p.t. er der ingen af ordningerne, som har indbygget hensyn til effekterne af klimaændringerne. Ved revisionen af støtteordningerne bør disse hensyn derfor indarbejdes, herunder hensynet til naturens tilpasningsmuligheder og udviklingsmuligheder. Det kan bl.a. ske ved krav om dyrknings- og sprøjtefri zoner langs f.eks. vandløb, naturreservater, veje, stier, fortidsminder mv. Nogle af disse zoner findes allerede visse steder i dag, men bør på længere sigt revurderes i lyset af klimaændringerne

Kapitel 3 - Klimaeffekter på tværs

I diskussionen om klimaets udvikling og de effekter det allerede har og de effekter det sandsynligvis og muligvis vil få på naturen i fremtiden, er der flere usikre elementer. Elementer, som afhængig af deres individuelle reaktion på klimaudviklingen og samspil med klimaets udvikling, kan få større eller mindre indflydelse på klimaændringernes effekter på naturen. Eksempler på disse usikkerheder skitseres i det følgende.

Golfstrømmens varme vand

Det er den gængse opfattelse at det relativt milde klima i Nordeuropa, herunder Danmark skyldes de store mængder varme som Golfstrømmen transporterer og afgiver til dette område sydfra. Denne havstrøm udgør en del af den globale thermohaline cirkulation (cirkulationsmønster), som drives ved at det varme salte, vand i Nordatlanten afkøles, og derved bliver så tungt, at det synker ned til stor dybde. Det nedsunkne vand strømmer herefter sydover. En global opvarmning vil øge afsmeltningen af is i Det Arktiske Ocean og på Grønland. Dette vil, eventuelt kombineret med øget nedbør, kunne stoppe de nedsynkningsprocesser, der er drivkraften bag bl.a. Golfstrømmen. Hvis Golfstrømmen ændrer retning eller styrke, betyder det en kraftig regional nedkøling af Skandinavien. Det anses dog på nuværende tidspunkt ikke for særligt sandsynligt at større ændringer optræder med kort varsel, men diskuteres indgående af eksperterne. Se f.eks. www.dmi.dk under atlantisk cirkulation.

Den nordatlantiske oscillation – NAO

Den nordatlantiske oscillation beskriver forskelle mellem lufttrykket over Island og Azorerne. Forskellen i disse to lufttryk fungerer som drivkraft for varm luft fra syd til nord. Jo højere forskel mellem de to lufttryk, jo stærkere er drivkraften og jo mere varm luft presses op imod nord, hvilket giver varme fugtige vintre i den østlige del af Norden og dermed også Danmark. Det kaldes en positiv NAO og modsat presses ved en negativ NAO, mindre varme op hvorfor vintrene bliver kolde og tørre heroppe. NAO's samspil med klimaforandringen i øvrigt kendes ikke til fulde. NAO har dog betydelig indflydelse på dyr og planter i Norden, herunder deres adfærdsmønstre (fænologi) og reproduktion (Forchhammer et al. 2002).

Atmosfærens stigende CO₂ - indhold

Udover den stigende temperatur og øget næringsstofftilførsel virker atmosfærens stigende CO₂-indhold ligesom næringsstofferne tilsyneladende væksthæmmende på planter på land og i vand (Hein et Jensen 1997; Norby et Luo 2004). Forskning i effekter af dette optag er først lige begyndte, men der peges på mulige alvorlige og irreversible effekter af en tilknyttet ændring bl.a. i oceanernes surhedsgrad dvs. en mindre pH.

Specielt i relation til overlevelsen af koralrevene i troperne, der er verdens største levende strukturer, men også koldtvandskoraller i det nordøstatlantiske område. Se f.eks. rapporten: "Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide": www.royalsoc.ac.uk

Metangas – en kraftig drivhusgas i jord og sediment

I havbundens sedimenter er der bundet stoffer som drivhusgassen metan, tungmetaller og dioxin (Verta et al. in prep.) Hvilken rolle en øget næringsstofbelastning og iltsvindsføremkomst kan spille for frigivelse af disse stoffer er uvis. Det er meget komplicerede processer, men der er indikationer på at udgasningen af metan fra havbunden vil forøges. Metangas er en langt mere kraftigt virkende drivhusgas end CO₂ og et eksempel på en feedbackmekanisme mellem natur og klima. Denne mekanisme kan groft beskrives som følger: Ved højere temperatur og mere nedbør følger mere næring og iltsvind på havets bund som sandsynligvis øger udgasningen af metan, som forstærker drivhuseffekten som igen forstærker klimaændringen osv. På land er metangasser bl.a. bundet i den arktiske jordbund under permafrost, men kan frigives ved optøning. Se fx www.met-office.gov.uk (Hadley Center).

Invasive 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 eller ved at have store økonomiske konsekvenser for samfundet og borgerne (Mooney et Cleland 2001). Introduktionen 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 med, at vi i Danmark i dag har flere end 1500 introducerede planter og dyr og at 1 % af de introducerede arter bliver problematiske. Det er ikke muligt at sige, hvilke introducerede arter der kan forventes at blive fremmet af en klimaændring i retning af den ovenfor skitserede. Måske er de pågældende arter ikke kommet til Norden endnu og selvom de allerede er her, overlever de måske kun på enkelte lokaliteter muligvis begrænset af f.eks. lave vintertemperaturer eller for kort vækstsæson.

Historien har vist os at en introduceret art godt kan være til stede i et område i lang tid før den pludselig nærmest eksploderer i antal. Et eksempel på dette er Kæmpe Bjørneklo (*Heracleum mantegazzianum*), som havde været i Danmark omkring 100 år, før den begyndte at spredes voldsomt. 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 udnytte dette og have mulighed for at kunne etablere

sig i Danmark med konsekvenser for den danske natur. Nye uønskede arter ind i danske farvande med skibes ballastvand og fra akvakultur anses for at være et stigende problem, især hvis arterne udkonkurrerer eksisterende flora og fauna. I Østersøen er der nu omkring 100 mere eller mindre invasive arter (<http://www.sns.dk/nobanis/>).

Kapitel 4 – Videnbehov

Viden kan forbedre tilpasningstiltag ved at præsentere så gode og sikre forudsigelser om klimaændringen og effekterne af dette som muligt, men også gennem udvikling og test af tilpasningstiltag og evt. teknologi (Fankhauser 1999). Derudover er det afgørende for tilpasningstiltagens effektivitet, at de kan efterprøves (Pullin et al. 2004). Dette kan ikke gøres optimalt, idet forudsætningerne ændres i det øjeblik tiltaget sættes ind, men tidsserier (base line) 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 et al. 2004). Der er behov for øget viden indenfor økosystemers respons på klimaændringer, specielt havet (Richardson et Schoeman 2004). Herunder er det vigtigt at identificere klimasensitive nøglefunktioner og indikatorer, hvilket respons 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, som f.eks. luftforurening og kvælstofforurening
- Dynamikken i potentielt invasive arter og invasive arter (Dukes et 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 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)

Litteraturliste

- Akademiet for de Tekniske Videnskaber (2003) Effekter af klimaændringer – tilpasninger i Danmark.
- Ambelas Skjøth (in prep)
- Andersen, H.E. et al. (2006) Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of the Total Environment* (accepted).
- Andersen, H.E. et al. (2006) Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of the Total Environment*. In press.
- Bazzaz, F.A. et Fajer, E.D. (1992) Plant life in a CO₂-rich world. *Scientific American*.
- Bernes, C. (2003) En varmare värld. Växthuseffekten och klimatets förändringar. *Naturvårdsverket et SweClim. Monitor* 18.
- Both, C. et al. (2004) Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proceedings Of The Royal Society*, **271**, 1657-1662.
- Carpenter, S. R. et al. (1992) Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics* **23**:119-139.
- Costanza, R. et al. (1997) The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260.
- CPSL (2001) Final Report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise. Wadden Sea Ecosystem. *CWSS*, **13**, Wilhelmshaven, Germany.
- Danish Climate Center (2001) Climate Change Research. Danish Contributions. *Gads forlag*
- DHI (in prep) Vand og Klima. *Dansk Hydraulisk Institut*.
- Dukes, J.S. et Mooney, H.A. (1999) Does global change increase the success of biological invaders? *Tree*, **14**, 135-139.
- Edelvang, K. et al. (2001) The Change in Primary Production of Danish Coastal Waters. In: Jørgensen, A.M. et al. (Eds.) Climate Change Research - Danish Contributions. *Danish Climate Centre*, 277-291.
- Fankhauser et al. (1999) Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions. *Ecological Economics*, **30**, 67-78.
- Fenger, J. et Frich, P. (2002) Dansk tilpasning til et ændret klima. Danmarks Miljøundersøgelser. *Faglig rapport fra DMU*, **401**.
- Thyssen, N. et al. (1990) Vandløbsmodeller: Biologisk struktur og stofomsætning. *Miljøstyrelsen*, **10**.
- Fenger, J. et Torp, U. (1992) Drivhuseffekt og klimaændringer – hvad kan det betyde for Danmark. *Miljøministeriet, Danmark*.
- Forchhammer, M.C. et al. (1998) Breeding phenology and climate. *Nature*, **391**, 29 – 30.
- Forchhammer, M.C. et al. (2002) North Atlantic Oscillation timing of long- and short-distance migration. *Journal of Animal Ecology*, **77**, 1002.
- Grime, J.P. et al. (2000) The response of two contrasting limestone grasslands to simulated climate change. *Science*, **289**, 962-765.
- Haddad, N.M. et al. (2003) Corridor use by diverse taxa. *Ecology*, **84**, 609-615.
- Hannah, L. et al. (2002) Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology et Biogeography*, **11**, (6), 485.

- Hannah, L. et al. (2002) Conservation of biodiversity in a changing climate. *Conservation Biology*, **16**, (1), 264 - 268.
- Hansen, J. et Kjerulf, J. (in prep) Klimabetingede effekter på marine økosystemer og udvalgte naturtyper.
- Hanski, I. (1998) Metapopulation dynamics. *Nature*, **396**, 41-49.
- Hanski, I. et Gilpin, M. (eds.) (1997) Metapopulation biology: ecology, genetics, and evolution. *Academic Press*, San Diego, USA.
- Hein, M. et Jensen, K.S. (1997) CO₂ increases oceanic primary production. *Nature*, **388**, 527-527.
- Huntley, B. et al. (2004) The performance of models relating species geographical distributions to climate is dependent of trophic level. *Ecology letters*, **7**, 417-426.
- Jeppesen, E. et al. (1992) Ferskvandsøkosystemer. I: Fenger, J. et Torp, U. (red.) *Drivhuseffekt og klimaændringer - hvad kan det betyde for Danmark*. Miljøministeriet, 185-197.
- Kim Gustavson (2001) Klimaændringer og mulige effekter på dyre- og plantelivet i danske farvande. *DHI-notat*.
- Kimura, M. et Weiss, G. (1964) The stepping stone model population structure and the decrease of genetic correlation with distance. *Genetics*, **49**, 561-576.
- Kronvang, B. et al. (1999) Retention of nutrients in river basins. *Aquatic Ecology*, **33**, 29-40.
- Loreau, M. et al. (2001) Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, **294**, 804-808.
- Meir, E. et 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*.
- Mooney, H.A. et 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.
- Norby, R.J. et Luo, Y. (2004) Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world. *New Phytologist*, **162**, 281-293.
- Nordisk Naturforvaltning i et ændret klima (2005) *Nordisk Ministerråd ANP: 2005: 571*
- Notat til Skov- og Naturstyrelsen. Forudsigelse af effekter af vandstandsstigninger på sælers brug af landgangspladser i danske farvande. Jonas Teilmann & Jesper Madsen. Danmarks Miljøundersøgelser. Afdeling for Arktisk Miljø, Frederiksborgvej 399, Postboks 358, 4000 Roskilde.
- Næss, L.O. et al. (2004) Forstudie til klimatilpasningsstrategi for Norge. *CICERO*, **11**, 45.
- Opdam, P. et 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. et al. (1999) Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, **399**, 579-583.
- Pullin, A.S. et al. (2004) Do conservation managers use scientific evidence to support their decision-making? *Biological Conservation*, **119** (2) 245-252.
- Rodrigues, A.S.L. et Gaston, K.J. (2001) How large do reserve networks need to be? *Ecology Letters*, **4**, 602.
- Root, T.L. et al. (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, **421**, 57-60.
- Stenseth, N.C. et 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.

- Søgaard, B. et al. (2003) Kriterier for gunstig bevaringsstatus – Naturtyper og arter omfattet af EF-habitatdirektivet og fugle omfattet af EF-fuglebeskyttelsesdirektivet. *Faglig rapport fra DMU*, **457**.
- Teknologirådets rapporter (2004) Når havet stiger – nyt klima – nyt liv. **2004/5**.
- Thomas, C.D. et al. (2004) Extinction risk from climate change. *Nature*, **427**, 145-148.
- Tol, R.S.J. et al. (1998) The scope for adaptation to climate change: what can we learn from the impact literature? *Global Environmental Change*, **8**, 109-123.
- Tøttrup, A. (2004) Changing phenology of migratory passerines in Northern Europe. M.sc. Thesis, Zoological Museum, Københavns Universitet, Danmark.
- Udvalget om Miljøpåvirkninger og fiskeriressourcer (2002) Delrapport vedr. klimaændringer. *DFU- rapport*, **111-02**.
- Vand og vejr om 100 år. Resultater fra CONWOY (in prep.) *Forlaget Hovedland*.
- Verta, M. et 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. et al) *Climate change research. Danish contributions*, 255 - 263. *Gads Forlag*.
- Visser, M.E. et al. (1998) Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings Of The Royal Society*, **26**, 1867-1870.
- Vähätalo, A.V. et al. (2004) Spring arrival of birds depend on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Avian Biology*, **35**, 210-216.
- Walther, G.R. et al. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, **416**, 389-395.
- Wilhelmudvalgets arbejdsgruppen for havet (2001) Havets natur - mål og midler. *Arbejdsgrupperapport*.