

Udvalget om

Miljøpåvirkninger og fiskeriressourcer

Delrapport vedr. klimaændringer

Brian R. MacKenzie, DFU, koordinator

André W. Visser, DFU

Jes Fenger, DMU

Poul Holm, Syddansk Universitet

Danmarks Fiskeriundersøgelser
Jægersborgvej 64-66
DK-2800 Kgs. Lyngby

ISBN: 87-90968-30-1

DFU-rapport nr. 109-02

Indholdsfortegnelse

| | |
|--|----|
| 1. Indledning | 3 |
| 2. Klimaforandring og drivhuseffekten..... | 3 |
| 2.1 Baggrund..... | 3 |
| 2.2 Globale scenarier for fremtidens klima..... | 4 |
| 3. Klimaforandring, havmiljøer og marine økosystemer rundt om Danmark og Nordeuropa..... | 6 |
| 4. Effekten af klimaforandring på fisk..... | 11 |
| 4.1 Geografisk fordeling og mortalitet..... | 12 |
| 4.2 Rekruttering | 14 |
| 4.3 Populationsdynamik og økosystemets bæredygtighed | 19 |
| 4.4 Klimaændringer, eutrofiering og fiskeøkologi | 20 |
| 4.5 Klimaændringer og fysiologiske rater | 20 |
| 4.6 Et spekulativ skøn (bud) på fremtidens fiskesamfund i danske farvande..... | 21 |
| 5. Den økonomiske effekt af klimaforandring på det danske fiskeri..... | 23 |
| 6. Klimaforandring, fiskeriforvaltning og tilpasningsmuligheder | 24 |
| 7. Sammendrag | 27 |
| 8. Tak for hjælpen | 28 |
| 9. Referencer | 29 |

1. Indledning

Fiskebestandenes størrelse og fordeling varierer meget i tid og rum, og disse variationer kan få alvorlige socioøkonomiske konsekvenser for de personer der er involveret i fiskerierhvervet (Hilborn & Walters 1992). Årsagerne til disse forandringer omfatter udnyttelse, men også forandringer i klimatiske og andre miljømæssige faktorer. Som følge heraf er det vigtigt at forstå årsagerne til disse variationer for at kunne forebygge lokal eller regional svækkelse af udnyttede fiskearter (Jackson et al. 2001), og for at opretholde et bæredygtigt fiskerierhverv.

Som levende organismer er fisk påvirket af deres abiotiske og biotiske omgivelser, og især af vandmassernes egenskaber. Forandringer i lufttemperatur, vindforhold, skydække og nedbør påvirker direkte den biologiske produktion i havet og måden som denne produktion strømmer gennem de marine fødekæder til fiskene (Kiørboe 1993). Kort sagt, kan variation i næsten alle større aspekter af fiskeøkologi (f.eks. vækstrater, migrationer, gydetidspunkter) i nogen grad spores til klimatiske variationer (f.eks. sæsonmæssig opvarmning, vandopblanding i forbindelse med storme, tendenser i lufttemperaturer over årtier, etc.). I dette kapitel vil der blive givet en redegørelse over nogle af disse aspekter, og en opsummering af hvordan klimatiske variationer påvirker marine fisk og fiskeriet, med speciel vægt på de arter som er særlig vigtige for Danmark (f.eks. torsk *Gadus morhua*, rødspætte *Pleuronectes platessa*). En store dele af dette arbejde er baseret på rapporter skrevet af flere af kapitlets medforfattere (Fenger 2001; MacKenzie & Visser 2001).

2. Klimaforandring og drivhuseffekten

2.1 Baggrund

Drivhuseffekten, der er et naturligt fænomen, medfører ved hjælp af molekulære processer i atmosfæren, at solstrålingen opvarmer jordoverfladen ca. 35°C mere end den ellers ville have gjort. Det er en væsentlig forudsætning for liv. Problemet er blot, at de stigende koncentrationer af kuldioxid, metan og lattergas samt forskellige andre stoffer forøger drivhuseffekten og herigennem påvirker Jordens og atmosfærens varmebalance. Ændringen er kun få %, men det er nok til at give en yderligere opvarmning, der kan udløse et kompliceret mønster af globale klimaændringer. En identifikation af det menneskeskabte bidrag vanskeliggøres dog af at sådanne ændringer er overlejret med naturlige variationer, der på forskellig tidsskala kan skyldes forandringer i Solens udstråling, svingninger i de globale systemer af vinde og havstrømme, større vulkanudbrud o.m.a.

Når vi bevæger os fra observationer i fortiden til forestillinger om fremtiden bliver konklusionerne mere hypotetiske og må baseres på komplicerede modelberegninger. Med udgivelsen af IPCC's tredje samlede vurdering i sommeren 2001 (IPCC 2001) er der dog – på basis af nye detaljerede beregninger - fremlagt en overbevisende argumentation for, at den menneskeskabte forøgelse af drivhuseffekten uundgåeligt vil medføre et vist mål af klimaændringer. Hvor store ændringerne vil blive, hvor hurtigt de vil forløbe, og hvordan de vil blive fordelt på Jorden er endnu usikkert - og det vil i alle tilfælde afhænge af, i hvilket omfang det lykkes at få begrænset de globale udslip af drivhusgasser.

2.2 Globale scenarier for fremtidens klima

Ingen ved med sikkerhed, hvordan Verden vil udvikle sig, men vi kan på forskellig vis opstille mere eller mindre sandsynlige scenarier. Emissions(udslips)- og klimascenarier rækker sjældent længere frem end 100 år. Det skyldes dels usikkerheden i antagelserne om den teknologiske og samfundsmæssige udvikling dels de begrænsninger, som sættes af den tilgængelige computerkapacitet.

Emissionsscenarier

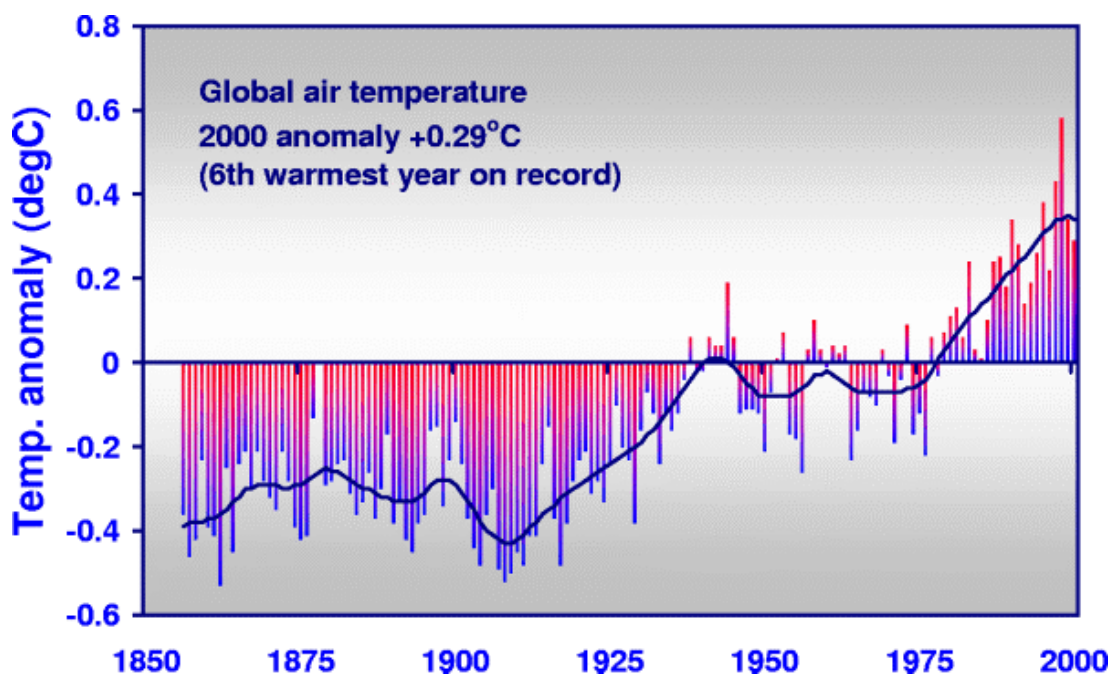
IPCC har opstillet en række (såkaldte reference-) scenarier for den økonomiske, tekniske og demografiske udvikling frem til år 2100. De er opdelt i fire familier af "historier" alt efter om hovedvægten lægges på økonomi eller miljø og på globalt eller regionalt orienteret udvikling:

- *A1*. En fremtidig verden i meget hurtig økonomisk vækst. Verdensbefolkningen top- per i midten af århundredet, og der sker en hurtig introduktion af nye mere effektive teknologier. A1-familien omfatter tre "underfamilier" hvor der fortrinsvis anvendes fossile brændsler (*A1F1*) eller ikke-fossile energikilder (*A1T*) samt en balanceret blanding af alle energikilder (*A1B*).
- *A2*. En mere heterogen verden med fortsat stigning i verdensbefolkningen og lang- sommere teknologisk udvikling.
- *B1*. En verden, der i visse henseender minder om A1, men i højere grad satser på service og informationsbaseret økonomi samt bæredygtige teknologier.
- *B2*. En verden der har fortsat befolkningsvækst, men dog mindre end i A2 samt en langsommere og mere forskelligartet teknologisk udvikling end A1 og B1.

De tilsvarende stigninger i global middeltemperatur er beregnet til 1,4–5,8°C frem mod 2100. Den mindste opvarmning (omkring 2°C) findes ikke overraskende i B1-scenarierne, der beskriver en verden, hvor man lægger vægt på miljøbeskyttelse og

globale løsninger, og i A1T hvor væksten baseres på ikke-fossile energikilder. Den største opvarmning (omkring 5°C) findes i A1F1, hvor der antages hurtig vækst baseret på fossile brændsler. Det er usandsynligt at disse forandringer udelukkende skyldes naturlige variationer i jordens klima. I stedet menes det nu at stigningen i atmosfærisk CO₂ niveau på grund af fossil brændstofforbrænding har bidraget til disse forandringer (Fenger 2001; IPCC 2001).

Disse temperaturstigninger er alle væsentlige større end dem som er set i løbet af de sidste 150 år (Fig. 1). Globale klima-cirkulationsmodeller viser at selv om de atmosfæriske CO₂ niveauer blev stabiliseret til nuværende niveauer, ville de globale lufttemperaturer fortsætte med at stige med 1 C i de næste 100 år. Dette tyder på at de følger som allerede er observeret (f.eks. stigende lufttemperaturer) vil fortsætte og måske forstærkes (IPCC 2001).



Figur 1. Global lufttemperaturtendens (Jones et al. 1999).

Regionale forskelle og effekter

Selvom der i alle scenarier forventes en generel opvarmning, vil der blive store regionale forskelle, og de største ændringer vil ske på høje breddegrader (Stendel et al. 2001). Samtidigt forventes ændringer i nedbørsforholdene (Christensen & Christensen 2001). Der beregnes generelt forøget nedbør om vinteren og reduktion om sommeren uden for troperne. I de polare egne vil der generelt blive tale om en kraftig stigning i nedbøren, mens subtropiske områder kan blive ramt af en reduktion. Endvidere vil nedbørens intensitet og fordeling på årstider ændres, samtidigt med at mere nedbør falder som regn og mindre som sne.

Dansk klima i fremtiden

Når vi skal vurdere virkningerne af menneskeskabte klimaændringer, er udgangspunktet en antagelse om fremtiden med store usikkerhedsmomenter. Hertil kommer at klimamodellernes opløsning umiddelbart er for grov, når man skal se på mindre områder som f.eks. Danmark.

Globale modelberegninger har kun en opløsningsevne på 3-500 km, men den kan forbedres ved indlejring af detaljerede beskrivelser af regionale områder i de globale resultater. Beregninger af denne type er bl.a. foretaget for Europa og Skandinavien på Danmarks Klimacenter, DMI, hvor man har forudsat middel emissionsscenarioer og vurderet ændringer i Danmarks klima frem mod 2100. Som i tilsvarende andre modelberegninger findes en generel opvarmning på omkring 4°C, der er størst i nordlige områder, om vinteren og om natten. Det betyder, at døgn- og årstidsvariationer generelt bliver mindre (Fenger 2001).

En analyse af den simulerede nedbør viser tendens til et lidt vådere vinterklima med hyppigere forekomst af kraftig nedbør, specielt om efteråret (Christensen & Christensen 2001). For Danmark beregnes en stigning i årlig nedbør på 10% med den største vækst om vinteren (10-40%) og mulighed for et svagt fald om sommeren (10-25%). Alt i alt vil det ikke regne hyppigere, men når det regner vil det regne kraftigere.

Der er i flere modelberegningerne en tendens til lidt større stormaktivitet i nordeuropa (Easterling et al. 2000; Fenger 2001).

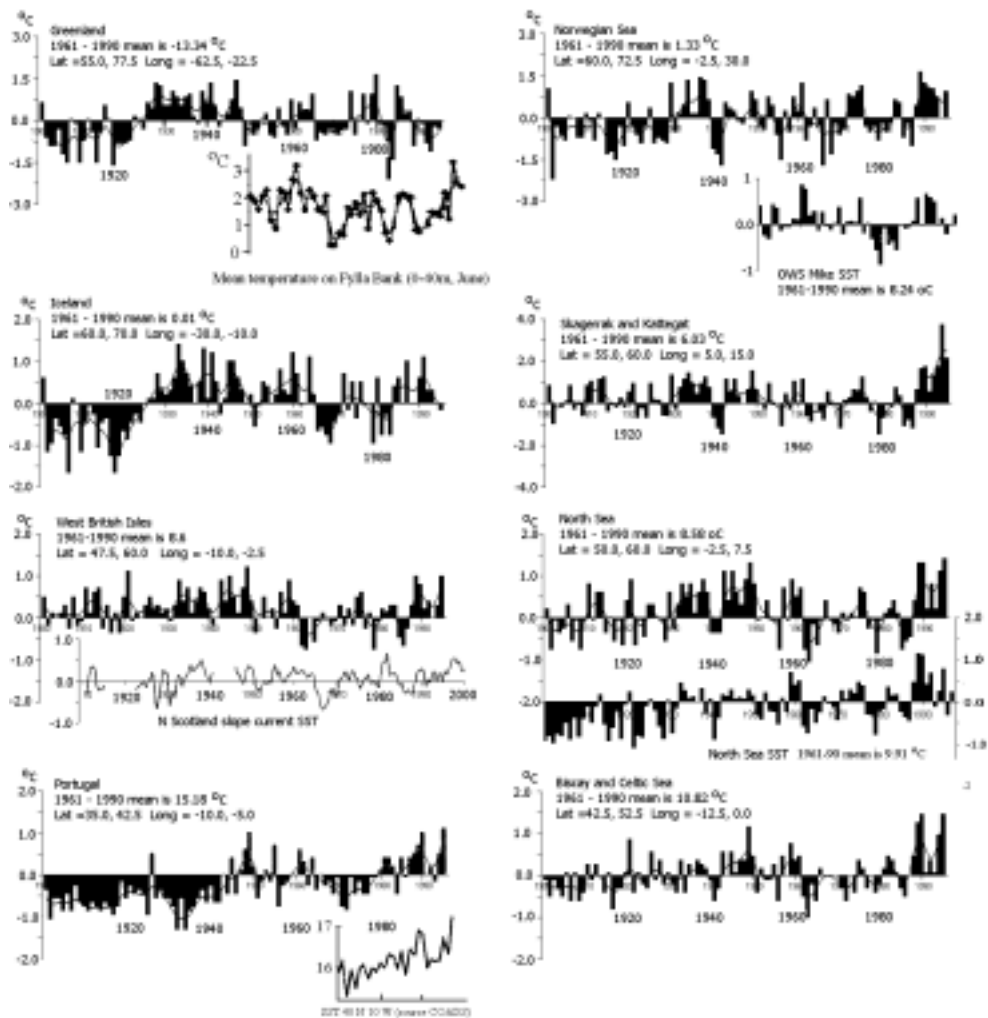
3. Klimaforandring, havmiljøer og marine økosystemer rundt om Danmark og Nordeuropa

Havene omkring Danmark (Nordsøen, Skagerrak, Kattegat, Bælthavet, Østersøen) og Nordeuropa er stærkt påvirket af klimatiske kræfter. Vi forsøger her at fremhæve de væsentligste forbindelser mellem klima og oceanografi som kan påvirke fiskeproduktionen i disse farvande, og hvordan disse forbindelser vil forandres i fremtiden. Sådanne forandringer kan ske hvis tendensen til global opvarmning fortsætter, eller hvis fluktuationer af lokale vejrmonstre intensiveres over årtier (Dickson et al. 2000).

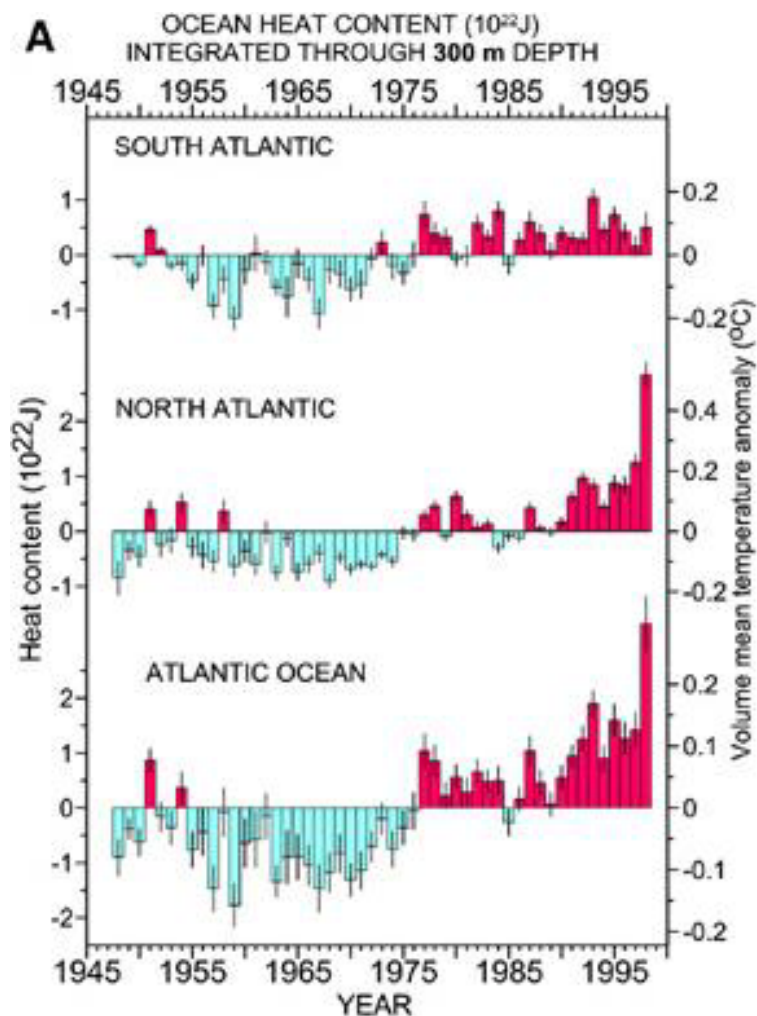
Som ved ethvert tempereret-borealt marint økosystem er årstidsbestemt opvarmning og lagdeling livsnødvendigt for at en pelagisk biologisk produktion kan foregå. Disse processer afhænger af klimatiske parametre som lufttemperatur, vind og tidevandsblanding, nedbør og skydække. Det formodes at en sæsonmæssig stigning i planktonproduktion muliggør en efterfølgende fiskeproduktion i disse farvande (Kiørboe 1991). Da indtræden af denne produktion er afhængig af balancen mellem blandings-

og lagdelingsprocesserne, vil klima og vejr have en stærk indflydelse på tidspunkt, varighed og intensitet af planktonproduktionen gennem hele året, den artssammensætning som bidrager til denne produktion, samt indflydelse på fiskenes tidlige livsstadier. Faktisk har Kiørboe (1992) indikeret at global opvarmning vil favorisere pelagiske (f.eks. planktivore) arter i de danske farvande, fordi sæsonen for planktonproduktion bliver forlænget på grund af en længere vækstsæson og stigende vandsøjlestabilitet som følge af forøget lagdeling. En evaluering af denne og lignende hypoteser kræver en sammenkoblet modellering – til bestemmelse af hvordan føde- og vækstrater hos zooplanktivore fisk (f.eks. sild, brisling) er afhængige af hydrografiske forhold, og hvordan disse hydrografiske forhold fremkommer ved klimaforandring. Mens sidstnævnte er klimatologers domæne, kan fiskeribiologer tage fat på førstnævnte for en stor del ved at undersøge fiskebestandenes reaktion på klimatiske svingninger.

De eksisterende klima-havmodeller viser at forøget atmosfærisk koncentration af drivhusgasser vil føre til varmere globale lufttemperaturer, en reduktion af vinter-sommer-temperaturforskelle, en forstærkning af vindene og en stigning i den globale nedbør (Fenger 2001; Stendel et al. 2001; Christensen & Christensen 2001). Der er tegn på at nogle af disse forandringer allerede kan være på vej (Fig. 1-3). Stigning i den globale gennemsnitslufttemperatur (Fig. 1; Jones et al. 1999), højere luft- og havtemperaturer i de nordeuropæiske farvande (Fig. 2; Brander et al. 2003), stigninger i havets varmeindhold i store dele af Atlanterhavet (Fig. 3; Levitus et al. 2000), smeltende gletschere (Stendel et al. 2001; IPCC 2001), og forandringer i regionale vindmønstre (Bakun 1990) er alle blevet observeret i de senere årtier.



Figur 2. Afvigelser i luft- og havoverfladetemperaturer i Nordeuropa observeret i de senere årtier (Brander et al. 2003).



Figur 3. Forandringer i havvarmeindhold i tre store områder i Atlanterhavet. (Levitus et al. 2001).

Selv om moderne fysiske modeller tager højde for forudsigelserne om de miljømæssige forhold i danske farvande på grund af klimaforandring, er disse baseret på visse formodede scenarier (Fenger 2001; Edelvang et al. 2001). Usikkerheden af de underliggende scenarier både på et globalt (Stendel et al. 2001) og et regionalt (Christensen & Christensen 2001) niveau betyder, at effekten af klimaforandringer i nordeuropæiske farvande fortsat er uklar. Kiørboe (1992) foreslår at global opvarmning vil forøge vandsøjlestabiliteten og således favorisere pelagiske fiskearter. På den anden side kan man argumentere for at den forudsagte stigning mellem vinter- og sommertemperaturer og stigningen i gennemsnitsvindhastigheden kan føre til et generelt fald i vandsøjlestabilitet. Disse forhold kan favorisere bentiske arter. Modeller viser også at formation af verdens dybvand er følsom over for tilførsel af ferskvand (Clark et al. 2002) og at en stigning i tilførsel af ferskvand vil reducere formationsraten af dybvand i polare områder og forøge dets ustadighed (Clark et al. 2002). Dette emne undersøges i øjeblikket (Stocker & Schmittner 1997; Jørgensen et al. 2001; Clark et al. 2002). Hvis sådanne modeller er korrekte, kan reduceret dybvandsformation føre til signifikante forandringer i den termohaline cirkulation i Nord-

atlanten, herunder dens position og styrke, hvis ikke selve Golfstrømmens eksistens. Reduktioner i denne cirkulation og indstrømning af Atlanterhavsvand til Nordeuropa vil føre til signifikant koldere klima i de nordlige områder sammenlignet med det nuværende (Fenger 2001; Clark et al. 2002). I dette tilfælde vil global opvarmning ironisk nok føre til koldere tilstande i og omkring Danmark, og artssammensætningen af den lokale fiskefauna kan forblive uforandret eller muligvis blive mere boreal/arktisk.

Der er imidlertid adskillige indikationer på at de klimatiske og hydrografiske forhold i Nordeuropa i de seneste årtier er blevet noget varmere (Fig. 1-3). Luft- og havoverfladetemperaturer fra adskillige regionale farvande i det nordøstlige Atlanterhav er blevet varmere i løbet af de sidste 10-15 år (Brander et al. 2003). Endvidere er vintrene i Nordøsteuropa blevet mildere i denne periode: det maksimale areal der er dækket af is i Østersøen er blevet mindre end tidligere års gennemsnit (Seinä & Palosuo 1996). Andre langtidsserier over klimaforandring i Nordeuropa (f.eks. baseret på iskerne) viser også at de seneste årtier har været varmere (IPCC 2001). Disse observationer antyder at den globale termohaline cirkulation ikke er blevet tilstrækkelig svag endnu til at modvirke de observerede opvarmningstendenser som er set i Nordeuropa.

Et vigtigt middel til at vurdere mulige effekter af klimaændring på fiskeriet er at undersøge hvordan svingninger i klimaet har tidligere påvirket fiskeøkologien over årtier. Specielt veldokumenteret er påvirkningen af forskelle i barometerstand i Nordatlanten over tid, den såkaldte nordatlantiske svingning (på engelsk: *North Atlantic Oscillation* forkortet NAO), på oceanografien i nordeuropæiske farvande (Dickson et al. 2000; Ottersen & Stenseth 2001). Den nordatlantiske svingning er i sig selv et klimatisk fænomen baseret på forskellen i lufttryk mellem en nordlig (sædvanligvis islandsk) og en sydlig beliggenhed (bl.a. Azorerne, Lisabon, Gibraltar) og gennemgår store variationer fra år til år (Jones et al. 1997). Lave værdier af NAO indekset (Jones et al. 1997) er om vinteren forbundet med hårde vintre i Nordeuropa med ringe nedbør og vinde som stammer fra Nord/Østeuropa. Dette resulterer i lave temperaturer i Nordsøen (Dippner 1997), og forøget isvolumen og ringe udstrømning af ferskvand (Koslowski & Loewe 1994; Hänninen et al. 2000) til Østersøen. Endvidere bliver indstrømningen af Atlanterhavsvand til Nordsøen og Barentshavet stærkt reduceret (Dickson et al. 2000).

Variationer i NAO er forbundet med biologiske forandringer i marine økosystemer, selv om direkte kobling af NAO-variationer til variationer i fiskeøkologi (f.eks. vækst, rekruttering) er svagt dokumenteret. Temperatur-relaterede variationer i torskerekruttering i både Barentshavet og Nordsøen er indirekte relateret til påvirkningen af NAO på temperaturerne i disse områder (Ottersen et al. 2001;

Dippner 1997). NAO har også påvirket mængden af pelagiske juvenile torsk i kystområder i Skagerrak gennem hele det 20. århundrede (Fromentin et al. 1998).

NAO har også en betydelig effekt på regional cirkulation i det nordøstlige Atlanterhav, herunder intensiteten af indstrømning af Atlanterhavsvand til Nordsøen og Barentshavet (Stephens et al. 1998; Dickson et al. 2000). NAO-drevet indstrømning af Atlanterhavsvand har stor indflydelse på mængden af føde (copepoder) til larvefisk i disse områder (Ottersen et al. 2001). Ved fravær af disse indstrømninger er temperaturerne i Barentshavet lave, føderaten for torsk reduceres, og rekrutteringen falder for både torsk, sild og kuller (Ottersen et al. 2001).

Sammenfattende kan det siges at NAO har stor indflydelse på hydrografien, marine økosystemer og fiskeproduktionen i det nordøstlige Atlanterhav. I de senere år har NAO indekset været relativt højt (Easterling et al. 1997), sammenfaldende med tendensen til en stigning i den globale temperatur. Hvis global opvarmning og NAO funktionelt er relateret, og hvis den globale opvarmning fortsætter, så vil der kunne ses både signifikante ændringer i udbredelsen af copepodarter i nordatlanten (Beaugrand et al. 2002) og torskerekruttering i Nordsøen og Barentshavet (se også Afsnit 4.2).

Klimaforandring kan også ledsages af forskelle i vind- og nedbørsmønstre (Easterling et al. 2000; Christensen & Christensen 2001) som på skift vil påvirke den regionale hydrografi. Indstrømningerne af saltholdigt og iltrigt vand fra Nordsøen og Skagerrak til Østersøen afhænger i væsentlig grad af en kompliceret sekvens af vindforhold fra forskellige retninger (Matthäus & Schinke 1999). Nye undersøgelser viser at frekvensen og intensiteten af indstrømningerne også afhænger af afstrømninger af ferskvand (Matthäus & Schinke 1999). Disse indstrømninger er væsentlige (1) for torskerekrutteringen (se nedenfor, afsnit 4.2), (2) til opretholdelse af et rigt og forskelligartet bentisk samfund, og (3) til underbygning af et højsalint zooplanktonsamfund (Möllmann et al. 2000; Dippner et al. 2000) der er nødvendigt for hurtig vækst af sild (Cardinale & Arrhenius 2000). Klimaforandringer som resulterer i større forandringer på vinde, nedbør og afstrømningsmønstre kan forøge frekvensen og varigheden af forekomster af iltsvind i Østersøen. Denne situation vil nedsætte torskerekrutteringen og slå bentisk marint liv ihjel (Helcom 1996).

4. Effekten af klimaforandring på fisk

Det er klart at der på nuværende tidspunkt ikke kan fremsættes en præcis forudsigtelse over fiskesamfundet i havene omkring Danmark på grund af usikkerhederne i koblingerne mellem klima og hav. Hvis disse imidlertid kan overvindes, og pålidelige modeludkast bliver til rådighed, vil det være muligt at forudsige nogle af de større

forandringer i fiskeøkologi som kan finde sted omkring Danmark.

Da det er svært at forudsige det fremtidige klima og hydrografiske tilstande omkring Danmark, vil vi bruge resten af dette kapitel til at give nogle eksempler på hvordan klimaforandringer tidligere har påvirket fiskeproduktionen og fiskeriet. Denne retrospektive oversigt, baseret på både proces-baseret viden og historiske forbindelser mellem variationer i fiskeøkologi og klima, giver os mulighed for at vurdere de mulige konsekvenser af klimaforandringer da retningen og størrelsen af disse forandringer bliver mere og mere synlige. En simpel ekstrapolation af disse historiske undersøgelser til fremtiden skal tages med stærkt forbehold, fordi hyppigheden og størrelsesordenen af klimatiske og hydrografiske forandringer i fremtiden kan være større end de der tidligere er foregået i økosystemet og fordi nye biologisk forhold (f. eks., fødenetstruktur, interaktioner mellem arter som konkurrence og prædation) vil udvikle sig efterhånden som temperatur- og salinitetsforandringer skrider frem. Det er derfor uklart om fiskenes reaktioner (f.eks. tilpasning, skift i fordeling, forandringer i artsinteraktioner) på tidligere (relativt langsomme) klimaforandringer også vil gælde for fremtidens (relativt hurtige) klimaforandringer.

4.1 Geografisk fordeling og mortalitet

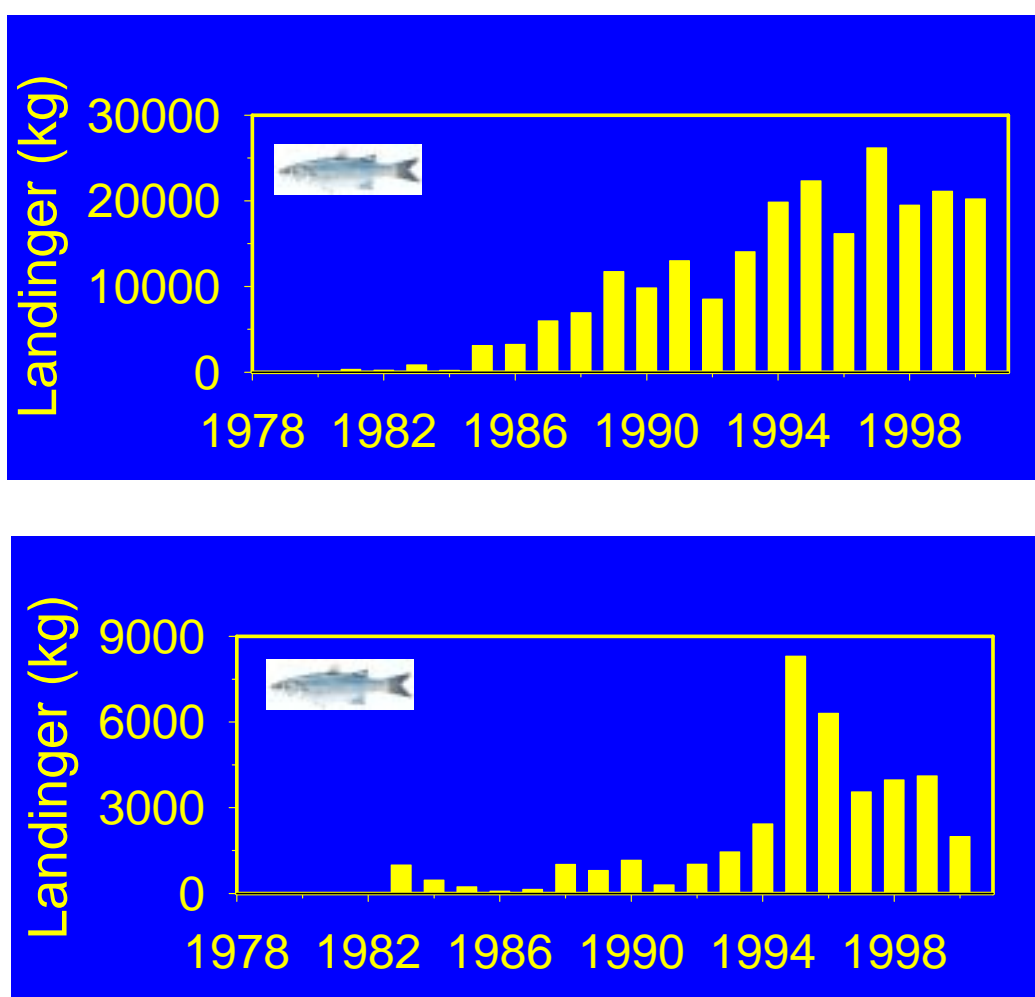
Nutidens geografiske fordeling af fiskepopulationer er resultatet af en langsigtet reaktion på miljømæssige og klimatiske forhold i lokalområder (Frank et al. 1990; Kiørboe 1992). Hvis disse forhold ændres (f.eks. på grund af global opvarmning), må man enten forvente direkte dødelighed eller at geografiske områder og fordelinger for individuelle arter vil rykke mod nord eller syd.

Et eksempel på en direkte dødelig effekt af temperaturstress på en fiskepopulation er effekten af lav temperatur på tunger (*Solea solea*) i Nordsøen. Tunger i denne region er tæt på den nordligste ende for denne arts geografiske fordeling. Under hårde vintre får lave temperaturer i Nordsøen tunger til at dø, og yngre aldersgrupper lider under stigende naturlige mortalitetsrater. Yderligere gør fiskens hendøende tilstand dem meget lettere at fange med industrielle fiskeredskaber, og mortalitetsraten stiger.

Hvis hydrografiske forandringer sker gradvis og over længere tidsperioder (f.eks. årtier), kan en fiskepopulation muligvis nå at reagere ved at skifte fordelingsretning. Sådanne eksempler er almindelige, og et bemærkelsesværdigt tilfælde er stigningen i mængden af torsk og andre tempererede nordlige arter under en varmeperiode ved Vestgrønland i perioden 1910-1930. Bestandstætheden faldt efterfølgende til meget lavere niveauer, til dels fordi forholdene blev koldere (Jensen 1939; Hovgård & Buch 1992; Pedersen 2001). Lignende forandringer er set i den sydlige Nordsø og i den engelske kanal hvor sardin ofte har erstattet sild som den dominerende pelagiske art i løbet af de sidste 2-3 århundreder (Alheit & Hagen 1997). Historiske forandringer i

zoogeografiske fordelinger som disse er blevet brugt til at drage slutninger om faunasammensætningen af marine fiskesamfund som følge af global opvarmning (Frank et al. 1990).

Lignende forandringer er ved at ske for øjeblikket i de danske farvande. Den tyklæbede mulde (*Chelon labrosus*) er en fiskeart som har dens nordligste fordelingspunkt i den sydlige Nordsø (Muus & Nielsen 1999), men er nu blevet almindelig i danske farvande og kan reproducere sig med succes her (Aarestrup 2001). Denne art er højt værdsat, og landinger af denne art af danske fiskere i danske farvande er steget markant over de sidste 10-15 år (Fig. 4), delvis sammenfaldende med stigning i vandtemperaturen i Nordsøen (Fig. 2). Landinger af adskillige andre ”sydlige” arter er steget i Nordsøen og Norskehavet i de senere år (Stebbing et al. 2002; Brander et al. 2003).



Figur 4. Landinger af tyklæbet mulde (*Chelon labrosus*) i danske farvande af danske fiskere (MacKenzie unpubl. data). Øverste panel: Skagerrak-Kattegat-Bælt; nederste panel: Nordsø.

Fiskepopulationer har gennemlevet store forandringer i fordeling og mængde i hundredvis af år. Disse forandringer er også sket når dødelighedsraten på grund af fiskeri var meget lavere end nu. I nogle tilfælde er forandringerne sket i forbindelse med dokumenteret store klimaforandringer. For eksempel er sildefangsterne i Skagerrak ud for Bohuslän (Sverige) varieret både over årtier og århundreder, og disse svingninger er delvis kontrolleret af klimaets påvirkning på sildemigrationsmønstrene (Alheit & Hagen 1997; Holm 2003). Lignende svingninger er nu dokumenteret for Limfjordens sildebestand over de sidste 400 år (Poulsen 2002). Som følge deraf har langtids og korttids klimavariationer haft stor indflydelse på fiskefordeling og produktion i farvande nær Danmark. Disse påvirkninger har haft en markant betydning på den økonomiske og sociale udvikling i Danmark siden middelalderen (Holm 1996). Med disse eksempler er der grund til at tro at lignende påvirkninger vil ske i fremtiden, især hvis det varmere klima som det der er set i de seneste 10 år, fortsætter som forudsagt (IPCC 2001).

Foruden de permanente skift i artsfordelingerne som beskrevet ovenfor kan klimaforandringer føre til ændringer i årstidsbestemte migrationsmønstre hos nogle fiskearter. Disse årstidsmigrationer bestemmer ofte fiskeriaktiviteterne for danske fiskere (f.eks. fastsættelse af tidspunkt og placering af redskaber), samt interaktioner (f.eks. prædation, konkurrence) med andre arter. Selve migrationerne er relateret til sæsonmæssige variationer i hydrografiske tilstande, så som temperaturer og saliniteter. Forandringer i årstidsopvarmning eller afkølingsmønstre kunne føre til forandringer i ankomst- og afgangstider af migrationsarterne (f.eks. makrel *Scomber scombrus*, hornfisk *Belone belone*) i danske farvande hvilket vil føre til forandringer i udnyttelsesstrategier blandt fiskere.

4.2 Rekruttering

En fiskebestands produktion af nye fisk hvert år, dens overlevelse til en given størrelse eller alder kaldes rekruttering. Rekrutteringen varierer meget fra år til år, og noget af variationen skyldes forskelle fra år til år i gydemassen (den kønsmodne bestand) (Hilborn & Walters 1992). Imidlertid skyldes variationen i mange, hvis ikke i de fleste bestande, miljømæssige faktorer, herunder den måde klimaet påvirker de abiotiske (f.eks. temperatur, salinitet, iltkoncentration) og biotiske (f.eks. føde- og prædatormængde) forhold. Det er vigtigt at kvantitetsbestemme og skelne mellem kilderne til forskelle i rekruttering, fordi rekruttering bestemmer en bestands evne til at opretholde forskellige niveauer af kommerciel udnyttelse. Hvis rekrutteringspotentialet af en bestand falder ned til et kritisk niveau, kan det blive nødvendigt at lukke eller kraftigt reducere hele fiskerier for at beholde bestanden (Hilborn & Walters 1992).

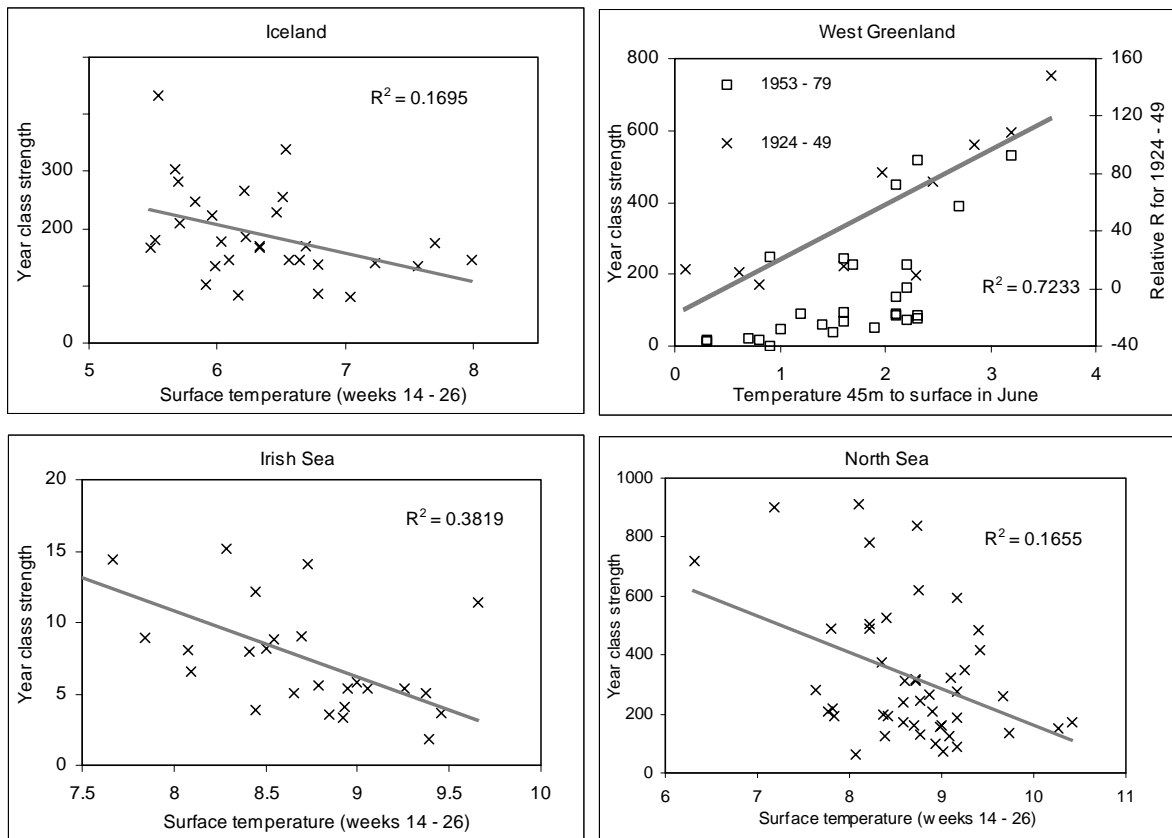
En måde til at kunne identificere hvordan klimaet påvirker rekruttering er at undersøge hvordan hydrografiske processer påvirker vækst og overlevelse af prærekrutstadierne (f.eks. æg, larver, 0-grupper). Derefter kan denne viden bruges til at konstruere miljømæssige variabler som kan bruges i rekrutteringsmodelleringsstudier. Denne fremgangsmåde har især været vellykket for torsk i den østlige Østersø (ICES SD 25-32) hvor det er påvist at rekrutteringen forbedres som følge af klimadrevne indstrømninger af salint, iltrigt vand fra Nordsøen (Jarre-Teichmann et al. 2000; Köster et al. 2001). Sådanne indstrømninger sikrer at torskeæg får nok ilt til at de kan få en gunstig udvikling og klækning, men deres hyppighed og intensitet afhænger stærkt af vindforhold, nedbør og ferskvandsafstrømning til Østersøen og vandstandsforskelle over regionen (Matthäus & Schinke 1999). Endvidere synes forbruget af ilt ved de dybder hvor torskeæggene befinder sig at være afhængig af temperaturen (MacKenzie et al. 1996). Som følge deraf afhænger torskens reproduktive succes i Østersøen af adskillige klimaforhold. Hvis man antager at fremtidens klima vil være varmere med flere hyppige store nedbørsperioder og stigende afstrømning, kunne det vise sig at torskebiomassen i den østlige Østersø vil forblive lav eller endog falde yderligere i løbet af de næste årtier (MacKenzie et al. 2002).

Rekruttering af sild i Nordsøen synes også delvis at være afhængig af klimaet. Denne bestand kollapsede i slutningen af 1970'erne og 1980'erne dels på grund af overfiskning dels på grund af en fejlslagen vinddrevet cirkulation, der skulle bringe larver fra gydeområder til juvenile opvækstområder. Sammenbruddet i cirkulation og larvedrift var anledning for forskerne til at udvikle koblede 3-dimensionelle klima-hav-cirkulationsmodeller i Nordsøen som kan anvendes til at modellere driften af fiskelarver (Bartsch et al. 1989). Modellen har vist at usædvanlig cirkulation kan resultere i at larverne ikke har held til at komme til deres opvækstområder hvilket til sidst resulterer i lav rekruttering (Bartsch et al. 1989). Disse modeller vil blive yderligere udviklet og vil være et anvendeligt redskab til at undersøge hvordan fremtidige klimarelaterede forandringer i cirkulation og temperatur kan påvirke rekruttering i denne og andre Nordsøfiskebestande (f.eks. torsk, tobis).

Rekrutteringsforholdene i adskillige fiskebestande i Nordsøen kan være relateret til vækst og overlevelsprocesser forbundet med frontzoner (Munk et al. 1999). Disse områder er sammenhobningssteder for fiskelarver og 0-gruppe arter, som torsk, hvilling og sild (Munk et al. 1986; Munk et al. 1999). Lokalisering og sæsonmæssig formation / ødelæggelse af disse områder afhænger både af tidevandsblanding og klimatiske processer (f.eks. sæsonmæssig opvarmning, nedbør). Betydningen af frontprocesser på rekruttering af fisk er ikke tydelig i øjeblikket, men er et aktivt forskningsområde både i Danmark og i udlandet. De forventede langtidsforandringer i klimaet vil derfor have en vigtig indflydelse på lokalisering af frontzonerne og på de frontmæssige biologiske processer, herunder dem som påvirker distribution og overlevelse af unge fiskebestande.

Statistiske studier har også påvist signifikant forbindelse mellem rekruttering og klimatiske variabler. Flere af disse studier har omfattet bestande som er kommercielt udnyttet af danske fiskere (f.eks. torsk, sild, kuller, rødspætte i Nordsøen). De klimatiske variable som har vist sig at påvirke rekruttering af disse og andre fiskebestande omfatter temperatur, saltholdighed, afstrømning af ferskvand, vindhastighed og retning, opstrømningsintensiteter og stormfrekvens (Myers 1998). De mekanismer som er involveret i korrelationerne repræsenterer muligvis forandringer i fødeproduktion til larver og unge fisk, forandringer i cirkulation og driftruter for æg/larver og direkte fysiologiske påvirkninger af abiotiske faktorer på vækst og overlevelse.

Den stærkeste forbindelse mellem miljømæssige variabler og rekruttering omfatter sædvanligvis de fiskebestande som er tæt på de geografiske distributionskanter (Myers 1998). For eksempel er torskerekruttering negativt relateret til temperatur i Nordsøen og det Irske Hav, men positivt relateret i de nordlige områder nær Grønland og i Barentshavet (Fig. 5) (Ottersen 1996; Planque & Fredou 1999; Brander 2000). Det tyder på at en bestands reaktion på temperaturtendenser er afhængig af hvor de enkelte bestande befinder sig i forhold til hele artens geografisk fordeling. Forudsat at adskillige fiskebestande, som udnyttes af danske fiskere, er nær en geografisk grænse for en bestands fordeling (Muus & Nielsen 1999), kan det forventes at disse bestande vil reagere kraftigt på forandringer i klima og hydrografiske forhold. Rekruttering i mange af disse bestande har tidligere været påvirket af temperatur og saltholdighed (Tabel 1).



Figur 5. Årgangsstyrke for fire torskebestande i relation til temperatur i de øvre lag i perioden april til juni. Se Brander (2000) for detaljer. Bemærk at rekrutteringen generelt stiger når temperaturen stiger i de nordlige områder, men falder når temperaturen stiger i de sydlige områder.

Table 1. Observerede påvirkninger af temperatur, salinitet, og vindforhold på rekruttering, vækst eller dødelighed i nogle fiskebestande udnyttet af danske fiskere.

| Art | Område | Faktor | Effekt | Reference |
|-----------|---|------------------|---|---|
| Torsk | Nordsø | Temperatur | Varmere temperaturer fører til lavere rekruttering | (Ottersen 1996; Planque & Fredou 1999; Brander 2000) |
| Torsk | Grønland | Temperatur | Varmere temperaturer fører til højere rekruttering | (Ottersen 1996; Hovgård & Buch 1992; Planque & Fredou 1999; Brander 2000) |
| Torsk | Østersø (ICES omr. 25-32) | Salinitet (ilt) | Flere saline indstrømninger forbedrer iltforhold for torskæg og -rekruttering | (Jarre-Teichmann et al. 2000; Köster et al. 2001) |
| Sild | Østersø (Riga Bugt) | Temperatur | Varmere temperaturer fører til højere rekruttering | (Kornilovs 1995) |
| Sild | Østersø (ICES omr. 28-32) | Salinitet | Højere salinitet forbedrer fødeforhold og vækstrater | (Flinkman et al. 1998; Cardinale & Arrhenius 2000) |
| Tobis | Nordsø | Temperatur | Varmere temperaturer fører til højere rekruttering | (Svendsen et al. 1995) |
| Brisling | Nordsø og Østersø | Temperatur | Kolde temperature forhindrer æggenes overlevelse | (Thompson et al. 1981; Nissling 2003) |
| Rødspætte | Nordsø | Temperatur | Kolde vintre fører til højere 0-gruppeoverlevelse og rekruttering | (Fox et al. 2000; van der Veer et al. 2000) |
| Rødspætte | Skagerrak-Kattegat | Vind | Stærkere vind fører til flere 0-grupper | (Nielsen et al. 1998) |
| Tunge | Nordsø | Temperatur | Kold temperatur dræber ungfisk | (ICES 1997) |
| Tunge | Skagerrak-Kattegat | Temperatur | Kold temperatur nedsætter rekruttering | (MacKenzie & Nielsen 1999) |
| Makrel | Nordsø-Celtisk Hav-Irsk Hav-Biscay Bugt | Vind (turbulens) | Stærke vinde nedsætter rekruttering | (Borja et al. 2002) |

4.3 Populationsdynamik og økosystemets bæredygtighed

Klimaforandring kan påvirke fiskeproduktionen og især rekrutteringen på meget mere komplicerede måder end den relativt ligefremme effekt som beskrevet ovenfor. Disse måder kan involvere effekten på et økosystems samlede bæreevne i forhold til at understøtte produktion af en given art og kan involvere interaktioner blandt arter (f.eks. prædation, konkurrence, sygdom) som påvirker vækst og overlevelse af de nye rekrutter.

Et nyttigt casestudie til at illustrere sådanne interaktioner er påvirkningen af temperatur, cirkulation og prædation på rødspættrekruttering i Nordsøen (van der Veer et al. 2000). Stærke årgange bliver produceret i de år, hvor temperaturerne er specielt kolde, og når regional hydrografi transporterer pelagiske æg og larver til lavvandede (< 2-3 m) kystnære opvækstområder langs den sydlige Nordsø. Den almindelige hesterejes (*Crangon crangon*) prædation er høj og kan reducere mængden af rødspætter. Hesterejer tolererer imidlertid ikke de lave temperaturer som er forbundet med strenge vintre. Prædationsraterne i kolde år er derfor meget lavere. Hvis cirkulationen har leveret et større antal af æg og larver til kysten, vil det resultere i større årgange på grund af højere overlevelseshastigheder end normalt i de juvenile opvækstområder (van der Veer et al. 2000).

Økosystemets bæreevne for rekruttering af torsk er også påvirket af temperaturen. Myers et al. (2001) har sammenlignet produktion af nye rekrutter pr. enhed gydebio-masse fra alle 20 torskepopulationer i Nordatlanten og har observeret at forskellige populationer er i stand til at producere et forskelligt antal rekrutter pr. gyder. Populationer i koldere områder producerede flere rekrutter pr. gyder end populationer i varmere områder (Myers et al. 2001) hvor der muligvis er flere torskeprædatorer og konkurrenter.

Der er andre belæg for at rekruttering kan være begrænset af andre arter i økosystemet. Swain & Sinclair (2000) har vist, at rekruttering af torsk i den sydlige St. Lawrence Bugten (Canada) er omvendt relateret til den totale biomasse af pelagiske arter som sild og makrel. Det er ukendt om det samme forhold eksisterer for andre torskebestande i Nordatlanten. Til gengæld er der bevis for at sild (Köster & Schnack 1994) og sandsynligvis også makrel (Swain & Sinclair 2000) er prædatorer af unge torskestadier (æg, larver), og prædation formodes at være den ansvarlige proces for lav rekruttering af torsk i den sydlige St. Lawrence Bugt når der er rigelige mængder af sild og makrel. Sild og især brisling (*Sprattus sprattus*; Clupeidae) er dokumenteret at være vigtige prædatorer på torskeæg i den østlige Østersø (Köster & Schnack 1994; Köster & Möllmann 1997). I øjeblikket er det ukendt hvilken rolle klimaet har på produktionen af disse potentielle prædatorer (sild, makrel, brisling) i de forskellige regioner. En korrelation observeret af Swain & Sinclair (2000) og de

proces-baserede studier udført af Köster og kolleger antyder imidlertid at hvis klimaforandringer er fordelagtige for en arts hovedprædator (i dette eksempel, pelagiske arter som sild, makrel og brisling), så kan byttemængden (bl.a. torsk) falde, selv om klimaforandringerne kun har en lille fysiologiske effekt på byttet (torsk). Dette synes også at være tilfældet for rødspætte-hestereje eksemplet i Nordsøen (van der Veer et al. 2000).

4.4 Klimaændringer, eutrofiering og fiskeøkologi

En af de forventede klimaforandringer er en forøget frekvens af kraftig nedbørsbeholdninger (Christensen & Christensen 2001; Stendel et al. 2001; Palmer & Rålsånen 2002). Disse situationer kan føre til tiltagende oversvømmelse og ekstreme afstrømninger af ferskvand til kystnære områder, Østersøen og Nordsøen. Disse begivenheder kan eksportere høje koncentrationer af næringsstoffer, som er oplagret i lokale vandskel (f.eks. de som omgiver de danske fjorde eller endda hele Østersøen), til kystnære farvande, og vil bidrage til eutrofiering af lokale eller regionale farvande (Edelvang et al. 2001; se også rapportens kapitel om Eutrofiering). Forøget eutrofiering samt de forventede højere vandtemperaturer kan ændre fytoplanktonsamfundet og de fødekæder som fører biomasse og energi op til fiskene, samt kystnære bundvegetation som er en del af ungfishs habitater. Men et endnu mere alvorlig effekt af samspillet mellem klimaændring og eutrofiering kunne være et forøget iltforbrug især under springlaget, og dermed højere risiko for iltsvind.

Det forøgede iltforbrug kunne betyde for eksempel at gydeområder for torsk og bentiske habitatområder i den østlige del af Østersøen bliver mindre og at torskens reproduktionsevne i dette farvand bliver truet hvis de forventede klimaændringer indtræffer. Til gengæld er det muligt at den større frekvens af stærke vinde (som er forventede med et forandret klima) delvis kan "kompensere" for de skadelige effekter af flere oversvømmelser og forøget tilførsel af næringsstoffer. Disse stærke vinde kan muligvis føre til flere indstrømninger af saltholdigt iltrigt vand fra Nordsøen til Østersøen, og generelt forstærke udvekslingen mellem Nordsøen og Østersøen. Derfor er det uklart hvordan de forskellige aspekter af et forandret klima vil påvirke danske farvande og fiskeriet. Emnet kræver mere procesbaseret viden og modeleringsstudier.

4.5 Klimaændringer og fysiologiske rater

Fisk er vekselvarme dyr, og derfor kan de forandringer i temperatur eller salinitet som kan ledsage klimaforandringer direkte påvirke fiskefysiologien, herunder føde- og vækstrater. Det er imidlertid uklart om forandringer i temperatur eller salinitet i sig selv kan forårsage økologisk betydningsfulde forandringer i disse rater, især i sammenligning med de forandringer som kan være foranlediget af variationer i andre variable (f.eks. fødemængde).

Dette spørgsmål er blevet undersøgt for vækstrater i torsk (Brander 1995). Torskevækstrater blandt populationer omkring Nordatlanten samvarierer med lokale gennemsnitstemperaturer. Baseret på disse resultater, viser Brander at en 1° C stigning i temperatur vil føre til ca. 1 kg stigning i aldersvægt. Langtidsforandringer i regionale vandtemperaturer som følge af global opvarmning vil derfor have stor indflydelse på vækstrater for torsk og andre arter.

Disse stigninger i vækstrater forudsætter at føde er tilstede i tilstrækkelige mængder til at forsyne de stigende føderater. I hvert tilfælde vil stigning i føde- og vækstrater ganske givet forøge prædationsraterne. Klimaforandringer kan derfor muligvis have en signifikant betydning på både fysiologiske rater og artsinteraktioner i marine økosystemer.

Det er måske mere sandsynligt at klimaforandringer vil have en stærkere indirekte effekt på vækstrater (f.eks. gennem artsinteraktion, påvirkning på byttefordelinger). Sild i Østersøen kan være et nyttigt casestudie. Det vigtigste bytte for sild i Østersøen er *Pseudocalanus* sp. (Flinkman et al. 1998) som foretrækker relativt høje saliniteter. I løbet af de sidste 10-15 år, er saliniteten i Østersøen faldet på grund af mindre indstrømning af vand med høj salinitet og på grund af stigende nedbør og ferskvandafstrømning (Hänninen et al. 2000). Dette fald i salinitet har ført til en fald i *Pseudocalanus* mængden (Möllmann et al. 2000; Dippner et al. 2000) og et fald i vækstraten hos sild (Flinkman et al. 1998; Cardinale & Arrhenius 2000). I dette tilfælde er klimaeffekten (gennem salinitet) på sild indirekte gennem dens effekt på byttemængden. Lignende indirekte påvirkninger af klimaforandringer kan forventes andre steder.

4.6 Et spekulativ skøn (bud) på fremtidens fiskesamfund i danske farvande

Hvis man tager udgangspunkt i klimamodellers resultat at temperaturen stiger ca. 2-4°C i løbet af de næste 100 år, hvordan kunne fiskesamfundet ser ud omkring Danmark?

Et spekulativ bud kan gives ud fra fiskearternes eksisterende geografiske fordelinger og effekten af temperatur på fiskeøkologi, især rekruttering (Tabel 1). På nuværende tidspunkt er fiskeartssammensætningen i danske farvande en blanding af både koldtilpasset og varmtilpasset arter (f. eks. henholdsvis torsk, sild, og rødspætte *contra* kulmule, tunge, brisling, og tyklæbet multe; Fig. 6). Denne artsammensætning findes delvis på grund af indvandringen af flere varmtilpasset arter i de senere år (Brander et al. 2003). Hvis tendensen til varmere temperaturer fortsætter, vil den nuværende situation ændre sig til et fiskesamfund som har flere varmtilpasset arter og / eller større forekomst af varmtilpasset arter. Nogle kandidatarter som kunne få gavn

af de varmere temperaturer er vist i Fig. 6. Figuren viser kun nogle få arter for at gøre den tydeligt; derfor skulle den tolkes som en skøn i stedet for bogstaveligt.

Kold Klima



Varm Klima



Figur 6. Et skøn over hvordan klimaforandringer kunne påvirke artssammensætning af fiskesamfundet i farvandene omkring Danmark. Størrelsen af de enkelte fiskebilleder svar nogenlunde til hvordan arten forventes at reagere (d.v.s. stiger, falder) imod en forventede temperaturstigning som svarer til det fremlagt af IPCC (2001; dvs. ca. 2-4°C i løbet af de næste 100 år). Figuren tager udgangspunkt i de fiskearter som blev fanget af kommerciel fiskere i disse farvande gennem 1990'erne. Figuren viser kun nogle få arter for at gøre den tydeligt; derfor skulle den tolkes som en skøn i stedet for bogstaveligt. Arterne blev skønmæssigt adskilte mellem dem som er kold- eller varmttilpasset. De kriterier som blev brugte til at adskille arterne er deres geografiske fordelinger (Muus & Nielsen 1999) og deres biologiske reaktion (f. eks. rekruttering) til temperatursvingninger (Tabel 1). Det understreges at fremtidens afgørende fiskesamfund omkring Danmark vil dog afspejle både de forventede ændringer i abiotiske faktorer (f. eks., temperatur, salinitet), og de nye biologiske forhold (f. eks., fødenetstruktur, interaktioner mellem arter som konkurrence og prædation) som vil udvikle sig efterhånden som temperatur- og salinitetsforandringer skrider frem. Artskoder: A) 1 kuller *Melanogrammus aeglefinus*, 2 sild *Clupea harengus*, 3 torske *Gadus morhua*, 4 rødspætte *Pleuronectes platessa*; B) 1 tobis *Ammodytes marinus*, 2 kulmule *Merluccius merluccius*, 3 tunge *Solea solea*, 4 sardin *Sardina pilchardus*, 5 tyklæbet mulle *Chelon labrosus*, 6 mulle *Mullus barbatus*, 7 brisling *Sprattus sprattus*, 8 sild *Clupea harengus*. Bemærk at alle arter er tilstede på begge paneler men kunne dem som forventes at blive mest forekomne er kodet.

5. Den økonomiske effekt af klimaforandring på det danske fiskeri

Det er svært at vurdere hvad de økonomiske effekter af klimaforandring vil blive for det danske fiskeri uden pålidelige prognoser for fremtidens klima og hydrografi. I stedet vil det være mere nyttigt på dette tidspunkt at identificere nogle mekanismer hvorved klimaet potentielt kan påvirke den økonomiske situation for det danske fiskerierhverv.

Som foreslået af Kjørboe (1992) kan en forandring i artssammensætning have en betydelig indflydelse på den økonomiske situation for det danske fiskeri, især hvis faunaskiftet går hen imod arter som er mindre værdsat. Under de givne usikkerheder om den fremtidige hydrografiske situation rundt om Danmark (Fenger et al. 1996), kan forudsigelser om faunasammensætningen af det fremtidige danske fiskeri imidlertid endnu ikke være pålidelige.

Priser og omkostninger for de danske fiskere vil sandsynligvis blive påvirket af klimaforandringer lokalt, regionalt og globalt. Et eksempel på klimaforandringers effekt på de priser, som danske fiskere får, er til rådighed fra 1997/1998. I 1998 fik danske fiskere næsten rekordhøje priser for Østersø-brisling selv om den lokale

forsyning var på et rekordstort niveau. Det høje prisniveau blev af Fiskeritidende (1998) delvis tilskrevet El Nino fænomenet i 1997-1998. Denne begivenhed reducerede forsyningen til verdensmarkedet af andre (konkurrerende) fiskearter (f.eks. sardin, ansjos) som frembringes i det østlige Stillehav. Dette område er ellers meget produktivt for industrifisk på grund af klima-drevet opstrømning af dybt næringsrigt vand til havets overflade. Den kraftige El Nino i 1997-1998 svækkede cirkulationen og fiskeproduktionen i området, hvilket senere førte til en mindre forsyning af disse fiskearter til verdensmarkedet. Klimaforandring på marine økosystemer fjernt fra Danmark kan derfor påvirke økonomien for det lokale danske fiskeri på temmelig kort tid.

Det er klart at en del af den usikkerhed der er forbundet med de fleste bestandsvurderinger og bestandsprognoser skyldes klimaets og hydrogafiens indflydelse på fiskeøkologien, især rekruttering. Denne usikkerhed fører til økonomiske omkostninger, men kan sandsynligvis reduceres (Tabel 1) hvis de processer som fører til stærke (eller svage) årgange bliver identificeret og brugt i bestandsvurderingsmodeller (inklusiv gydebestand-rekrutteringsmodeller) og prognoser.

6. Klimaforandring, fiskeriforvaltning og tilpasningsmuligheder

Da samfundet ikke kan ændre vores klima hverken regionalt eller på kort tidsskala, må fiskeriet, erhvervet og fiskeriforvaltningsmyndigheder selv tilpasse sig til de marine økosystemers og fiskepopulationers reaktion på klimaændringer. I de tidligere afsnit findes korte beskrivelser af nogle af disse reaktioner på klima variabilitet i fortiden. Kapitlet har også identificeret hvordan fiskepopulationer i de danske farvande kan tænkes at reagere hvis de forventede klimaændringer i de næste 100 år (dvs. dem som blev beskrevet ved hjælp af atmosfære-hav-cirkulationsmodeller; Stendel et al. 2001; Christensen and Christensen 2001) sker i virkeligheden. Ud fra denne viden, hvilke tilpasningsmuligheder er der til rådighed for det danske fiskeri og erhvervet og for forvaltningen af de populationer som fiskeriet udnytter?

De tilpasningsmuligheder som findes (se nedenfor) afhænger af tidsskalaen og naturen af selve klimaændringerne. I nordeuropa kan vi for eksempel forvente *langtidstendenser* (trends) i klimaet hen imod forhold som er anderledes end dem som i dag er typiske for Danmark og de danske farvande (Christensen & Christensen 2001; Fenger 2001; Stendel et al. 2001). Ud over langtidstendenserne vil vi fortsat opleve vigtige *korttidssvingninger* (f. eks. fra år til år, eller over perioder af flere år med nogenlunde samme type klimaforhold) i klimaet som ligner dem som vi har oplevet i fortiden. Begge typer klimaændring påvirker de marine økosystemer og

fiskeproduktionen, og begge kræver derfor tilpasning og justering af fiskeriet og fiskeriforvaltningen.

Vi må først overveje konsekvenserne af *langtidstendensen* i klimaet i retning af nye og anderledes forhold end dem som er til stede i dag (Stendel et al. 2001; Fenger 2001).

Under dette forudsætning, vil fiskearternes udbredelsesområder forandres på grund af ændringer i overlevelse, vækst og reproduktion af lokale bestande samt ændringer i vandringmønstre. Generelt forventes det at det varmere havvand vil være fordelagtigt for fiskearter som har deres nordlige udbredelsesgrænse tæt på Danmark eller som får fordele af varmere temperaturer (Tabel 1; Fig. 6). Hvis disse arter har en anden økonomisk værdi end de arter som danner grundlaget for nutidens danske fiskeri (se afsnit 5), vil det uundgåeligt påvirke fiskerierhvervets udbytte.

Det vil kræve at fiskerisektoren tilpasser både fiskeriet, og forædlings- og markedsføringsmetoderne til arter som ikke traditionelt har været almindelige i danske farvande i de senere år. Disse ændringer (f. eks. fangstmetoder, redskaber, områder, fiskeriårstider) skal indgå som en del af en bredere strategi, der har til formål at tilpasse hele den danske og europæiske fiskerikapacitet til niveauer, som sikrer en langsigtet bæredygtig udnyttelse af biologiske ressourcer og akvatiske økosystemer.

En strukturel tilpasning af den danske fiskerisektor til de ændrede forudsætninger for sektorens råvaregrundlag, er betinget af fleksibilitet såvel i forhold til regelgrundlaget for fiskeriet, som i forhold til ændrede markedsmæssige forhold af lokal og global karakter. I udgangssituationen er sektorens internationale orientering (ca. 90% af produktionen afsættes til eksport, og en stor del af råvaregrundlaget er importeret) et godt grundlag for fleksibilitet i forhold til justeringer på markedssiden. Her kan et ændret råvaregrundlag fortsat forventes at omfatte arter og produkter, der allerede indgår i det eksisterende verdensmarked for fisk. En tilpasning af fiskeriet til et ændret fangstgrundlag vil udover ændringer af regelgrundlaget (nye kvoter) være betinget af mulighederne for justeringer af det tekniske grundlag for fiskeri.

Hvis Danmark f.eks. skal erstatte fiskeriet af torsk, der i dag (2000) udgør ca. 20% af eksporten af al saltvandsfisk med fiskeri efter andre arter (som f.eks. tyklæbet mulde, der i de senere år er begyndt at yngle i danske farvande; Aarestrup 2001) kræver det en omstilling i den danske fiskerflåde samt en ændring af dansk madkultur, mod f.eks. større mangfoldighed af fiskeretter.

Den anden type klimaændring er hvad vi allerede har oplevet over kortere tidsskalaer (dvs. svingninger i klimaet fra et år til det næste). Hvilke biologiske konsekvenser har

den type variabilitet, og hvad kan der gøres for at tilpasse fiskeriet, erhvervet og fiskerforvaltningen?

Konsekvenserne af korttidsændringer og -svingninger i klimaet for fiskeøkologien og fiskeriet kan opsummeres således:

- 1) Årsagerne til tidligere variationer (over en skala fra år til årtier) i forekomsten af fisk er vanskelige at finde og tolke.
- 2) Prognoser for bestandsudvikling er usikre fordi nogle biologiske processer kan være følsomme over for klimaforandringer som i øjeblikket er svære at forudsige.
- 3) Økonomien for fiskeprodukter kan ændres på grund af klimatisk påvirkning på produktion og fordeling af fisk både i danske og udenlandske farvande.

Disse mangler kan til dels overvindes ved en bedre forståelse af de processer som forbinder klimaforandring til fiskeproduktion og -mængde.

Hvis det for eksempel var kendt at lav temperatur var skadelig for overlevelsen af æg eller unge fisk for en given fiskeart, så kunne denne information blive brugt til at forbedre rekrutteringsmodellerne. Endvidere hvis klima-relaterede forandringer i cirkulation fik zooplanktonkoncentrationerne til at stige, så ville vækstrater og fedtindhold af vigtige industrielle arter (sild, brisling, tobis) også kunne stige. Denne viden kan bruges til at forbedre modeller til populationsvurdering og muligvis også i fiskeforarbejdningssektoren.

Klimaets indflydelse på en fiskepopulation kan også bruges til at forudsige fremtidige tendenser i bestandsudvikling. Dette kræver selvfølgelig en forudsigelse af det fremtidige klima eller helst hydrografiske forhold. Disse forudsigelser er i øjeblikket ikke mulige ved fiskeriforvaltningsbeslutninger på kort sigt (dvs. 1-2 år forudsigelser for korttidsfangst; 5-10 år for mellemtdsprojektering af bestandsudvikling). Sådanne forudsigelser kan imidlertid blive mulige i fremtiden, og havprognoser ("ocean prediction") er et aktivt forskningsområde blandt klimatologer og fysiske oceanografer. Fiskeribiologer og fiskerierhvervet er nødt til at kende til disse udviklinger så de kan anvendes, når de bliver til rådighed.

Imidlertid behøver fiskeribiologer og fiskerierhvervet ikke at vente indtil disse forudsigelser er til rådighed før de kan udnytte deres kendskab til en klimatisk påvirkning på en fiskepopulation. Denne viden kan allerede anvendes i prognoser for bestandsudvikling under forskellige scenarier af klimaforandring og udnyttelse. Lignende (10 år) prognoser er allerede udført rutinemæssigt for fiskerierhvervet for næsten alle fiskebestande vurderet af ICES, men disse prognoser udelukker klima- og andre miljømæssige påvirkninger. Ved at inkorporere dokumenterede miljømæssige effekter på

fiskeproduktionen i projekteringsmetodologien ville vi øge sandsynligheden for at opdage om en fiskebestand falder til (eller overskrider) et kritisk niveau under visse kombinationer af fiskedødelighed og klimaforandring. Udnyttelsesraterne kan som følge deraf blive tilpasset.

7. Sammendrag

I al almindelighed er de specifikke processer som er forbundet med fiskebestandenes størrelse og klimaforhold ikke velkendte, og der er som regel meget usikkerhed forbundet med projektering af fiskebestandens størrelse. I øjeblikket er det derfor kun muligt at give begrænsede forudsigelser af hvordan de forventede klimaforandringer vil påvirke fiskesammensætningen i danske farvande. Nogle generelle forudsigelser er mulige, baseret på tidligere observationer med hensyn til årtiers klimatiske fluktuationer (f.eks. NAO), men mere konkrete prognoser vil kræve en mere ekstensiv sammenfatning og analyse af den eksisterende viden om fiskeri og miljø, et bedre kendskab til de processer som påvirker fiskeproduktion og overlevelse og længere tidsserier end dem som er nu tid rådighed.

Til trods for den nuværende begrænsede viden, kan tre typer forandring forventes hvis de forventede hovedelementer af et ændret klima (højere temperaturer, flere oversvømmelser og forøget hyppighed af storme) sker i løbet af de næste årtier:

- For det første vil overlevelse, vækst og reproduktion af de fiskearter som i øjeblikket findes i danske farvande forandres da temperaturerne stiger og saliniteten falder. De varslede forandringer vil være gunstige for nogle arter og skadelige for andre. Den relative mængde af disse arter, som i øjeblikket lever i danske farvande, vil derfor ændres.
- For det andet vil sammensætningen af fiskebestandene forandre sig efterhånden som temperatur- og salinitetsforandringer skrider frem. Vi kan forvente at se 'nye' arter komme ind i danske farvande, og eksisterende arter vil blive sjældnere eller uddø lokalt. Disse forandringer vil skyldes (1) immigration af eksotiske arter, sandsynligvis fra mere tempererede områder sydpå; (2) succes/fiasco for lokale arter til at tilpasse sig til de ændrede abiotiske forhold; og (3) etableringen af immigrantarter, som kan blive direkte konkurrenter eller prædatorer af arter som lever i danske farvande i øjeblikket. Hvad der umiddelbart ikke er klart, er hvilke arter der vil immigrere eller forsvinde, og om den samlede artsdiversitet eller rigdom af fiskebestande vil forandres. Det er heller ikke klart hvordan klimaforandringerne vil påvirke genetisk diversitet inden for en art..
- For det tredje kan andelen af pelagiske og demersale arter inden for fiskesamfundet forandres (Kiørboe 1992). Højere temperaturer og lave saliniteter vil

resultere i længere planktonproduktionssæsoner og kan derfor favorisere de arter som græsser direkte på fyto- og zooplankton (Kiørboe 1992). Sådanne arter kan være sild, brisling eller andre zooplanktivorer.

Selv om det er uklart både hvordan klimaet vil ser ud i Nordeuropa gennem de næste årtier og hvordan marine økosystemer og fiskepopulationer vil reagere på de kommende klimaforandringer, findes der alligevel flere tilpasningsmuligheder. Disse opregnes nedenfor. Vi kan:

- opbygge procesbaseret viden om hvordan klimaet sammen med andre miljøfaktorer (f. eks., eutrofiering) styrer det marine økosystems struktur/funktion og fiskeproduktion;
- analysere eksisterende datakilder (f. eks. surveys, fangster, historisk materiale, økonomiske data) og bruge procesbaseret viden til at forbedre og udvikle fiskerimodeller (f. eks. de modeller som bruges til bestandsvurdering og prognoser, gydebiomasse-rekrutteringsforhold og flerartsinteraktioner).
- bruge resultaterne fra 1) og 2) til at forbedre viden om og modeller for de sociale og økonomiske konsekvenser af klimaforandring for det danske fiskeri og fiskerierhverv.

8. Tak for hjælpen

Vi takker Jørgen Løkkegård for input og diskussion angående fiskeriøkonomi, Grethe Hedeager og Lilian Andersen for hjælp til oversættelsen og Else Nielsen for hjælp til korttegning.

9. Referencer

- Aarestrup K (2001) Facts om multen - en art på fremmarch (Facts about the thick-lipped mullet, *Chelon labrosus* - a species on the move. DFU Website <http://www.dfu.min.dk/ffi/FFI-DK/index.htm> (visited Nov 25, 2001) .
- Alheit J & Hagen E (1997) Long-term climate forcing of European herring and sardine populations. *Fish Oceanogr* 6, 130-139.
- Bakun A (1990) Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science* 247, 198-201.
- Bartsch J, Brander K, Heath M, Munk P, Richardson K, & Svendsen E (1989) Modelling the advection of herring larvae in the North Sea. *Nature* 340, 632-636.
- Beaugrand GRPC, Ibañez F, Lindley JA, & Edwards M (2002) Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science* 296, 1692-1694.
- Borja A, Uriarte A, & Egana J (2002) The influence of environmental factors on recruitment of mackerel (*Scomber scombrus*) in the northeast Atlantic. *Fisheries Oceanogr* 11, 116-127.
- Brander K (2000) Effects of environmental variability on growth and recruitment in cod (*Gadus morhua*) using a comparative approach. *Oceanol Acta* 23, 485-496.
- Brander KM (1995) The effect of temperature on growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *ICES J Mar Sci* 52, 1-10.
- Brander KM, Blom G, Borges MF, Erzini K, Henderson G, MacKenzie BR, Mendes H, Santos AMP, & Toresen P (2003) Changes in fish distribution in the eastern North Atlantic: are we seeing a coherent response to changing temperature? *ICES J Mar Sci* (submitted) .
- Cardinale M & Arrhenius F (2000) Decreasing weight-at-age of Atlantic herring (*Clupea harengus*) from the Baltic Sea between 1986 and 1996: a statistical analysis. *ICES J Mar Sci* 57, 882-893.
- Christensen JH & Christensen OB (2001) Regional climate scenarios - a study on precipitation. Jørgensen, AMK et al. *Climate change research - Danish contributions*. (10), 151-166. Copenhagen, Danmarks Meteorologisk Institut.
- Clark PU, Pisias NG, Stocker TF, & Weaver AJ (2002) The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change. *Nature* 415, 863-869.
- Dickson RR, Osborn TJ, Hurrell JW, Meincke J, Blindheim J, Adlandsvik B, Vinje T, Alekseev G, & Maslowski W (2000) The arctic ocean response to the North Atlantic oscillation. *J Climate* 13, 2671-2696.

- Dippner JW (1997) Recruitment success of different fish stocks in the North Sea in relation to climate variability. *Ger J Hydrogr* 49, 277-293.
- Dippner JW, Kornilovs G, & Sidrevics L (2000) Long-term variability of mesozooplankton in the Central Baltic Sea. *J Mar Systems* 25, 23-31.
- Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, & Folland CK (1997) Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* 277, 364-367.
- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, & Mearns LO (2000) Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science* 289, 2068-2074.
- Edelvang K, Erichsen A, Gustavson K, Bundgaard K, & Dahl-Madsen KI (2001) The Change in the Primary Production of Danish Coastal Waters. Jørgensen, AMK et al. *Impacts of Climate Change: Danish Investigations*. (12). Copenhagen, Danish Meteorological Institute, Department of Transport, Government of Denmark.
- Fenger J (2001) Dansk tilpasning til et ændret klima. 1-28. Risø, Danmark, Energi-styrelsen, Danmarks Miljøundersøgelser.
- Fenger J, Jørgensen AMK, & Halsnæs K (1996) Drivhuseffekt og klimaændringer: betydningen for Danmark set i lyset af IPCC's 1996-rapporter. 1-151. Copenhagen, Denmark, Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen.
- Flinkman J, Aro E, Vuorinen I, & Viitasalo M (1998) Changes in northern Baltic zooplankton and herring nutrition from 1980s to 1990s: top-down and bottom-up processes at work. *Mar Ecol Prog Ser* 165, 127-136.
- Fox CJ, Planque BP, & Darby CD (2000) Synchrony in the recruitment time-series of plaice (*Pleuronectes platessa* L) around the United Kingdom and the influence of sea temperature. *J Sea Res* 44, 159-168.
- Frank KT, Perry RI, & Drinkwater K (1990) Predicted response of Northwest Atlantic invertebrate and fish stocks to CO₂-induced climate change. *Trans Am Fish Soc* 119, 353-365.
- Fromentin J-M, Stenseth NC, Gjøsæter J, & Johannesen TPB (1998) Long-term fluctuations in cod and pollack along the Norwegian Skagerrak coast. *Mar Ecol Prog Ser* 162, 265-278.
- Hänninen J, Vuorinen I, & Hjelt P (2000) Climatic factors in the Atlantic control the oceanographic and ecological changes in the Baltic Sea. *Limnol Oceanogr* 45, 703-710.
- Helcom (1996) Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993, Background document. *Balt Sea Environ Proc* 64(B), 1-252.

- Hilborn R & Walters C (1992) Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. New York, Chapman and Hall.
- Holm P (1996) Catches and manpower in the Danish fisheries c. 1200-1995. Holm, P et al. The North Atlantic Fisheries, 1100-1976: National Perspectives on a Common Resource. (10), 177-206. Esbjerg, Denmark, Fiskeri- og Søfartsmuseets Forlag. Studia Atlantica. Holm, P., Starkey, D. J., and Thor, J. Th.
- Holm P (2003) The Bohuslen Herring. Interlude to Dutch supremacy in the European fish market, 1556-1589. Amsterdam, Festschrift Jaap Bruijn.
- Hovgård H & Buch E (1992) Fluctuations in the cod biomass of the West Greenland Sea ecosystem in relation to climate. Sherman, K et al. Large Marine Ecosystems: Patterns, Processes and Yields. (3), 36-43. Washington, Amer. Assoc. Adv. Sci.
- ICES (1997) Report of the working group on the assessment of demersal stocks in the North Sea and Skagerrak. ICES CM 1997/Assess:6 .
- IPCC (2001) Summary for Policymakers: A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1-20. IPCC Secretariat, World Meteorological Organization.
- Jackson JBC, Kirby MX, Berger WH, Bjorndal KA, Botsford LW, Bourque BJ, Bradbury RH, Cooke R, Erlandson J, Estes JA, Hughes TP, Kidwell S, Lange CB, Lenihan HS, Pandolfi JM, Peterson CH, Steneck RS, Tegner MJ, & Warner RW (2001) Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. Science 293, 629-638.
- Jarre-Teichmann A, Wieland K, MacKenzie BR, Hinrichsen H-H, Plikshs M, & Aro E (2000) Stock-recruitment relationships for cod (*Gadus morhua callarias* L.) in the central Baltic Sea incorporating environmental variability. Arch Fish Mar Res 48, 97-123.
- Jensen AS (1939) Concerning a change of climate during recent decades in the Arctic and subarctic regions, from Greenland in the west to Eurasia in the east, and contemporary biological and geophysical changes. Det Kgl Danske Videnskabsnes Selskab Biol Medd 14(8), 1-75.
- Jones PD, Horton EB, Folland CK, Hulme M, Parker DE, & Basnett TA (1999) The use of indices to identify changes in climatic extremes. Climatic Change 42, 131-149.
- Jones PD, Jonsson T, & Wheeler D (1997) Extension to the North Atlantic oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-west Iceland. International Journal of Climatology 17, 1433-1450.
- Jørgensen AMK, Fenger J, & Halsnæs K (2001) The scope of human induced climate change. Jørgensen, AMK et al. Climate change research - Danish contributions. (1), 1-22. Copenhagen, Danmarks Meteorologisk Institut.

- Kjørboe T (1991) Pelagic fisheries and spatio-temporal variability in zooplankton productivity. Proc 4th Intl Conf Copepoda Bul Plankton Soc Japan, Spec Vol 1991 Spec. vol.
- Kjørboe T (1992) Havmiljø og fiskeri. Fenger, J & Torp, U. Drivhuseffekt og klimaændringer: hvan kan det betyde for Danmark. (18). Copenhagen, Denmark, Department of the Environment.
- Kornilovs G (1995) Analysis of Baltic herring year-class strength in the Gulf of Riga. ICES CM 1995/J: 10 .
- Koslowski G & Loewe P (1994) The western Baltic sea ice season in terms of a mass-related severity index: 1879-1992. Part I. Temporal variability and association with the north Atlantic oscillation. *Tellus* 46(A), 66-74.
- Köster FW, Hinrichsen H-H, St.John MA, Schnack D, MacKenzie BR, Tomkiewicz J, & Plikshs M (2001) Developing Baltic cod recruitment models II: Incorporation of environmental variability and species interaction. *Can J Fish Aquat Sci* 58, 1534-1556.
- Köster FW & Möllmann C (1997) Predation by sprat and herring on early life stages of cod and sprat in the Central Baltic. Proceedings Symposium on Forage Fishes in Marine Ecosystems. 97-01, 41-70. Alaska Sea Grant College Program.
- Köster FW & Schnack D (1994) The role of predation on early lifes stages of cod in the Baltic. *Dana* 10, 179-201.
- Levitus S, Antonov JI, Wang J, Delworth TL, Dixon KW, & Broccoli AJ (2001) Anthropogenic Warming of Earth's Climate System. *Science* 292, 267-270.
- MacKenzie BR, Alheit J, Conley DJ, Holm P, & Kinze CC (2002) Ecological hypotheses for a historical reconstruction of upper trophic level biomass in the Baltic Sea and Skagerrak. *Can J Fish Aquat Sci* 59, 173-190.
- MacKenzie BR & Nielsen E (1999) The influence of spawning stock biomass and temperature on sole recruitment in the Skagerrak-Kattegat: preliminary results. (Poster presented at 3rd Intl. Flatfish Symposium, Beaufort, North Carolina, USA (Oct. 18-23, 1999)).
- MacKenzie BR, St.John MA, Plikshs M, Hinrichsen H-H, & Wieland K (1996) Oceanographic processes influencing seasonal and interannual variability in cod spawning habitat in the eastern Baltic Sea. ICES CM 1996/C+J:4 .
- MacKenzie BR & Visser AW (2001) Fisheries and climate change: the Danish perspective. Jørgensen, AMK et al. Climate change research: Danish contributions. (19), 291-302. Copenhagen, Gads Forlag.
- Matthäus W & Schinke H (1999) The influence of river runoff on deep water conditions of the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 393, 1-10.

- Möllmann C, Kornilovs G, & Sidrevics L (2000) Long-term dynamics of main mesozooplankton in the Central Baltic Sea. *J Plankton Res* 22, 2015-2038.
- Munk P, Christensen V, & Paulsen H (1986) Studies of a larval herring (*Clupea harengus* L.) patch in the Buchan area. II. Growth, mortality and drift of larvae. *Dana* 6, 11-24.
- Munk P, Larsson PO, Danielssen DS, & Moksness E (1999) Variability in frontal zone formation and distribution of gadoid fish larvae at the shelf break in the northeastern North Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 177, 221-233.
- Muus BJ & Nielsen JG (1999) Sea fish. First, 1-340. Hedehusene, Denmark, Scandinavian Fishing Year Book.
- Myers RA (1998) When do environment-recruitment correlations work? *Rev Fish Biol Fisheries* 8, 285-305.
- Myers RA, MacKenzie BR, Bowen KG, & Barrowman NJ (2001) What is the carrying capacity of fish in the ocean? A meta-analysis of population dynamics data from the North Atlantic. *Can J Fish Aquat Sci* 58, 1464-1476.
- Nielsen E, Bagge O, & MacKenzie BR (1998) Wind-induced transport of plaice (*Pleuronectes platessa*) early life-history stages in the Skagerrak-Kattegat. *J Sea Res* 39, 11-28.
- Nissling A (2003) Effects of temperature on egg and larval survival of cod (*Gadus morhua*) and sprat (*Sprattus sprattus*) in the Baltic Sea - implications for stock development. In prep .
- Ottersen G (1996) Environmental impact on variability in recruitment, larval growth and distribution of Arcto-Norwegian cod. Geophysical Institute, University of Bergen, Bergen.
- Ottersen G, Planque B, Belgrano A, Post E, Reid PC, & Stenseth NC (2001) Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia* 128, 1-14.
- Ottersen G & Stenseth NC (2001) Atlantic climate governs oceanographic and ecological variability in the Barents Sea. *Limnol Oceanogr* 46, 1774-1780.
- Palmer TN & Rälsänen J (2002) Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature* 415, 512-514.
- Pedersen SA (2001) The Arctic. Jørgensen, AMK et al. Impacts of Climate Change: Danish Investigations. (16). Copenhagen, Danish Meteorological Institute, Department of Transport, Government of Denmark.
- Planque B & Fredou T (1999) Temperature and the recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Can J Fish Aquat Sci* 56, 2069-2077.
- Poulsen B (2002) Konsekvenserne af Agger Tanges gennembrud i 1825 for fiskeriet i Limfjorden - en miljøhistorisk tolkning. Syddansk Universitet, Esbjerg, Danmark.

- Seinä A & Palosuo E (1996) The classification of the maximum annual extent of ice cover in the Baltic Sea 1720-1995. MERI Report Series of the Finnish Institute of Marine Research 27, 79-91.
- Stebbing ARD, Turk SMT, Wheeler A, & Clarke KR (2002) Immigration of southern fish species to south-west England linked to warming of the North Atlantic (1960-2001). J Mar Biol Ass U K 82, 177-180.
- Stendel M, Schmith T, & Hesselbjerg Christensen J (2001) Simulations of future climate with a coupled atmosphere-ocean general circulation model. Jørgensen, AMK et al. Climate Change Research - Danish Contributions. (9), 135-150. Copenhagen, Danmarks Meteorologisk Institut.
- Stephens JA, Jordan MB, Taylor AH, & Proctor R (1998) The effects of fluctuations in North Sea flows on zooplankton abundance. J Plankton Res 20(5), 943-956.
- Stocker TF & Schmittner A (1997) Rate of global warming determines the stability of the ocean-atmosphere system. Nature 388, 862-865.
- Svendsen E, Aglen A, Iversen SA, Skagen DW, & Smestad O (1995) Influence of climate on recruitment and migration of fish stocks in the North Sea. Beamish, RJ. Climate change and northern fish populations. Can Spec Publ Fish Aquat Sci 121, 641-653.
- Swain DP & Sinclair AF (2000) Pelagic fishes and the cod recruitment dilemma in the Northwest Atlantic. Can J Fish Aquat Sci 57, 1321-1325.
- Thompson BM, Milligan SP, & Nichols JH (1981) The development rates of sprat (*Sprattus sprattus* L.) eggs over a range of temperatures. ICES CM 1981/H:15.
- van der Veer HW, Geffen AJ, & Witte JIJ (2000) Exceptionally strong year classes in plaice *Pleuronectes platessa*: are they generated during the pelagic stage only, or also in the juvenile stage? Mar Ecol Prog Ser 199, 255-262.