

# Danmarks Klimacenter

Dansk Klimaforum 29. - 30. april 1998



Åbning af Danmarks Klimacenter



Referater fra workshop



Resumé af præsentationer

## **Rapport 98-1**

**Trafikministeriet  
København 1998**

Dansk Klimaforum 29. - 30. april 1998  
Danmarks Klimacenter, Rapport 98-1

Redaktion:

Jens Hesselbjerg Christensen, seniorrådgiver  
Anne Mette K. Jørgensen, divisionschef

ISSN: 1398-490-x  
ISBN: 87-7478-950-3

1998

Danmarks Meteorologiske Institut  
Lyngbyvej 100  
2100 København Ø.  
Danmark

Telefon: +45 3915 7500  
Telefax: +45 3927 1080

# Indholdsfortegnelse

side

<b>Indholdsfortegnelse</b> .....	<b>1</b>
<b>Forord</b> .....	<b>3</b>
<b>Rapport fra åbningen af Danmarks Klimacenter den 29. april 1998 og Klimaforums workshop den 30. april 1998</b> .....	<b>4</b>
<b>Program for den 29.-30. april 1998</b> .....	<b>7</b>
<b>Referat fra arbejdsgruppe 1: Klimasystemet (processer, modeludvikling, scenarier)</b> .....	<b>10</b>
<b>Referat fra arbejdsgruppe 2: Fysiske systemer (kyster, grundvandsressourcer, vandløb)</b> .....	<b>13</b>
<b>Referat fra arbejdsgruppe 3: Biologiske systemer (skove, landbrug, havmiljø og fiskeri, ferskvandsøkosystemer m.m.)</b> .....	<b>15</b>
<b>Referat fra arbejdsgruppe 4: Andre områder (samfundsmæssige forhold, energiforsyning m.m.)</b> .....	<b>17</b>
<b>Resumé præsentationer den 29.-30. april</b> .....	<b>19</b>
Bates, Ray: Activities at the Danish Center for Earth System Science (DCESS).....	36
Bengtsson, Lennart: Klimaforskningens udfordringer. <b>19</b>	
Bradshaw, Richard: Climate Change and Biological Response .....	49
Christensen, Jens Hesselbjerg: Globale og regionale klimascenarier .....	33
Christensen, Jens Hesselbjerg: Scenarier for vandstandsændringer og ændringer i det hydrologiske kredsløb.....	45
Christensen, Ole Bøssing: Hydrologi og vegetationsændringer i klimamodeller .....	51
Fedderson, Henrik: Sæsonprognoser.....	54
Fenger, Jes: Virkninger af klimaændringer i Danmark .....	24
Jørgensen, Anne Mette K.: Danmarks Klimacenter - samarbejdsrelationer og organisering.....	21
Jørgensen, Anne Mette K.: IPCC og den danske deltagelse.....	29
Kaas, Eigil: Klimamodelprojekter ved Danmarks Klimacenter.....	39
Larsen, Bo J.: Klimaændringers betydning for skove og skovbrug .....	30
Laursen, Leif: Klimacentrets aktiviteter og planer .....	22
Machenhauer, Bennert: Modelaktiviteter ved MPI.....	42
MacKenzie, Brian: Climate Effects on Fisheries and Marine Ecosystems.....	53
May, Wilhelm: High Resolution Global Climate Scenarios.....	35
Rebsdorf, Anne: Drivhuseffektens virkninger på kyster.....	46
Schmith, Torben: Flere storme i Nordatlanten .....	57
Svensmark, Henrik: Solens indflydelse på Jordens klima.....	41
Thomsen, Richard: Grundvandsressourcer og klimaændringer .....	47

Thomsen, Thorkild: Klimaændringer og vandressourcer .....	48
Torp, Ulrik: FN's klimakonvention og Kyotoprotokollen .....	27
Varming, Søren: Elsektoren og vejret.....	56
Visser, Andy: Climate Effects on Fisheries and Marine Ecosystems .....	53
<b>Deltagerlister</b> ....	<b>59</b>

# Dansk Klimaforum, den 29.-30. april 1998

## Forord

Som et led i regeringens handlingsplan "Danmark som foregangsland" er Danmarks Klimacenter (DKC) oprettet ved DMI pr. 1. januar 1998. Centrets hovedformål er kortlægning af den sandsynlige klimaudvikling i det næste århundrede - globalt og i Danmark - herunder fremtidige klimaændringers indflydelse på de danske, grønlandske og færøske samfund. Dette skal opnås dels gennem en styrkelse af klimaaktiviteterne på DMI, hvor der efterhånden er opbygget en betydelig ekspertise, dels ved et øget samarbejde med forskningsinstitutioner i Danmark og det øvrige Europa.

Koordinering og udveksling af resultater og viden vil ske gennem klimacentrets "Dansk Klimaforum", der er oprettet for centrets medarbejdere, nuværende og mulige fremtidige samarbejdspartnere samt interessenter, som ønsker at trække på den faglige ekspertise i dette forum. Gennem Dansk Klimaforum skabes en platform for en løbende debat om klimaspørgsmål, og desuden gives mulighed for at afdække behov for udveksling af data mellem forskellige grupper samt at etablere nye samarbejdsrelationer mellem klimaforskere i Danmark.

Dansk Klimaforum vil afholde temadage, seminarier og workshops. I forbindelse med den officielle åbning af DKC den 29. april 1998 ved trafikminister Sonja Mikkelsen var muligheden for at afholde den første workshop i Dansk Klimaforum oplagt. Her har formålet først og fremmest været at få etableret kontakter og at definere hvilke former for informationer, der er brug for til især forskellige typer af konsekvensstudier. Det er mit håb, at disse forundersøgelser kan danne basis for en række tværfaglige forskningsprojekter, som kan skabe ny viden, der nyttiggøres i det danske samfund.

L.P. Prahm  
Direktør

## **Åbning af Danmarks Klimacenter den 29. april 1998 og Dansk Klimaforums workshop den 30. april 1998.**

Ved åbningen af Danmarks Klimacenter (DKC) blev nogle af de opgaver, som DKC forventes at bidrage til løsningen af, skitseret gennem en række oversigtsforedrag. Resume af præsentationerne er medtaget i denne rapport, idet de udgør den ramme inden for hvilken DKC's fremtidige samarbejde med interessenter forventes at skulle udspille sig.

Trafikminister Sonja Mikkelsen åbnede Danmarks Klimacenter med at udtrykke en forhåbning om at centret vil bidrage til et betydeligt skridt fremad, når det gælder nyttiggørelse af dansk viden om vejr, klima og miljø. Videre lagde hun vægt på, at en afgørende forudsætning for at vi i Danmark kan medvirke til at afbøde uønskede virkninger af de menneskeskabte miljøpåvirkninger er, at vi får den nødvendige viden om den sandsynlige klimaudvikling. Oprettelsen af Danmarks Klimacenter betyder, at Danmark kan bidrage til mere viden om klimaændringer og derved skabe et bedre beslutningsgrundlag for håndteringen af nationale og internationale miljøproblemer.

Professor Lennart Bengtsson fra Max-Planck-Institut für Meteorologie i Hamborg gav et inspirerende indlæg om klimaforskningens udfordringer. Derefter var der, som det fremgår af programmet, redegørelser for klimacentrets organisering og samarbejdsrelationer ved chefen for DMI's Forsknings- og udviklingsafdeling Anne Mette K. Jørgensen samt om centrets aktiviteter og planer ved formand for centrets programkomité Leif Laursen, DMI. Endelig fortalte seniorforsker Jes Fenger, DMU om klimaændringers betydning i Danmark.

Workshoppen den 30. april var delt op i en fælles formiddagssession og fire parallelle eftermiddagssessioner. Formiddagens session var en generel introduktion til de mange spørgsmål, der knytter sig til hele drivhusdebatten. Den omfattede dels præsentationer af forskellige sektorer følsomhed over for klima og klimaændringer dels en oversigt over de metoder, der benyttes til opstilling af scenarier for fremtidens klima. Til eftermiddagens sessioner, som var delt op omkring beslægtede emner, var der afsat tid til en mere detaljeret gennemgang og til drøftelser af mulige samarbejdsprojekter.

Indtrykket fra denne første workshop i Dansk Klimaforum var, at der er en positiv holdning og en hel del forventninger til Danmarks Klimacenters formåen og mulighed for at levere pålidelige produkter. Dette gælder både observationsdata og modelresultater fra klimasimuleringer. Som det fremgår af rapporteringen fra de parallelle eftermiddagssessioner, gav en lang række af workshoppens deltagere udtryk for et ønske om bedre adgang til nærmere angivne tidsserier af historiske data, og man håbede at vejen var banet herfor med etableringen af DKC. Især behovet for en samlet oversigt over hvilke data, der er tilgængelige ved DMI og hvilken kvalitet de måtte være i, blev understreget. DKC vil forsøge at tilvejebringe en sådan oversigt.

Debatten understregede et væsentligt behov blandt DKC's interessenter for en koordineret indsats med henblik på etableringen af et datacenter, hvor både observations- og modeldata indgår. En opgave, der naturligt bør ligge ved DKC. Det skal i denne forbindelse nævnes, at en nær kontakt mellem de forskere, der benytter klimascenarier til vurderinger af virkninger af klimaændringer, og de forskere, der beregner klimascenarierne, er af stor betydning. Dels er det væsentligt for klima forskerne at kende andre gruppers behov for data - dvs. klimaparametrene og deres rumlige og tidslige opløsning og tidshorisont - dels er det nødvendigt for brugerne af klimascenarier at kende til modellernes eventuelle svagheder, usikkerheder og systematiske fejl for at anvende scenarierne optimalt.

På workshoppen blev der etableret flere kontakter og udtrykt en udbredt interesse for at etablere nye fælles forskningsprojekter. Blandt de mange deltagere var der dog en gennemgående negativ forventning til eksternt finansiering. Dette skal ses i lyset af, at midlerne fra forskningsrådene er begrænsede. Det var tilsvarende klart at stort set ingen af de potentielle projektdeltagere havde nogen særlig egenfinansiering at gøre godt med. Derfor skal projektansøgninger formentlig rettes direkte mod især EU-Kommissionens rammeforskningsprogrammer og Nordisk Ministerråd. De to sidste muligheder fordrer at grupper i andre lande vil være interesserede i at deltage i projekterne. Her har medarbejderne ved DKC en stor erfaring og mange kontakter også ud over deres eget felt at trække på fra de mange eksternt støttede projekter, DMI har været involveret i gennem de sidste 10 år. Denne ekspertise kan naturligvis tilbydes i forbindelse med etableringen af sådanne nye projekter.

Baseret på tilkendegivelser ved diskussionerne i de enkelte grupper blev en række projektforslag løseligt skitseret. Her skal nævnes nogle af de områder, hvor der især synes at være muligheder for et mere intensiveret samarbejde i de nærmeste år mellem DKC og workshopdeltagernes institutioner. Den skitserede projektlister skal på ingen måde betragtes som endelig, men den er ment som et forsøg på at fastholde parterne på de tilsagn, der blev givet i løbet af dagen. Baseret på disse foreløbige projektforslag kan mere fyldestgørende forslag udbygges mellem de interesserede institutioner. Hvorefter finansieringsmulighederne kan vurderes og mere formelle projektforslag skrives sammen og indsendes til de relevante organer.

### **Foreslåede samarbejdsprojekter:**

- Samarbejde mellem DKC og Københavns Universitet, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik (NBIfAFG) om "parameterisering af fysiske processer" og "koblede ocean-atmosfæremodeller" er i princippet oplagt, da man begge steder forventer en betydelig indsats på disse områder i fremtiden.
- Et ønske om samarbejdsprojekter til en bedre forståelse af fortidens klimavariationer blev fremført. Dvs. man bør ansøge om midler til et eller flere tværfaglige projekter. Et område, der må betragtes som meget oppe i tiden, er rollen af den termohaline cirkulation i Nordatlanten. GEUS, NBIfAFG og DKC kunne indgå i sådanne projekter.
- Et projekt rettet mod en bedre forståelse af akkumulering/ablation for iskapper i Nordgrønland baseret på atmosfæremodellering, iskappemodellering og telemåling blev foreslået. Dette projekt kan umiddelbart formuleres mellem DCRS/DTU og DMI. Men i en bredere formulering vil også elementer af klimaændringer i Grønland kunne inddrages, og konsekvenser for forskellige biologiske systemer vil kunne vurderes. Dermed vil også NBIfAFG og Grønlands Naturinstitut kunne inddrages.
- Et symposium om "Ovrraskelser i forbindelse med globale klimaforandringer" blev foreslået. Et sådant symposium kunne eventuelt gøres internationalt og forsøges formuleret meget bredt. DKC kan arrangere et symposium.
- Projekter med fokus på betydningen for Danmarks grundvandsressourcer, overfladevand og vandkvalitet af et ændret klima vil kunne etableres baseret på højopløsnings klimamodellering ved DMI og hydrologisk modellering ved GEUS, DMU og DHI.
- Klimaændringer i NØ-Afrika. Et samarbejde mellem primært DKC og Københavns Universitet (Geografisk Institut) om udnyttelse af en regional klimamodel for NØ-Afrika vil kunne etableres.

- Et samarbejde omkring etablering af web-sider med generel klimainformation og med en mere praktisk vejledning af brugere af klimadata i Danmark kan etableres med en bred deltagelse.
- En mulighed for at etablere et projekt, der fokuserer på sæsonprognoser med relevans for energisektoren blev påpeget. ELSAM og DKC kunne danne kernen.

På de følgende sider er først programmet for den 29. - 30. april 1998. Derefter følger de fire arbejdsgruppe-rapporter og resumeer af de mange faglige indlæg.



## **Dansk Klimaforum, den 29.-30. april 1998**

### **Program**

#### **29. april kl. 13.15-16.30    Åbning af Danmarks Klimacenter**

- 13.15-13.30 Åbning af Danmarks Klimacenter ved trafikminister Sonja Mikkelsen  
13.30-14.00 Klimaforskningens udfordringer ved prof. Lennart Bengtsson, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg  
14.00-14.15 Klimacentrets organisering og samarbejdsrelationer ved chefen for DMI's Forsknings- og udviklingsafdeling Anne Mette K. Jørgensen  
14.15-14.30 Klimacentrets aktiviteter og planer ved formand for centrets programkomité Leif Laursen, DMI  
14.30-15.00 Virkninger af klimaændringer i Danmark ved Jes Fenger, Danmarks Miljøundersøgelser  
15.00-16.30 Reception

#### **30. april kl. 9.00-17.00    Dansk Klimaforum, workshop**

##### **9.00 - 12.30 plenum i DMI's auditorium**

- 9.00 - 9.15 Introduktion og velkomst ved direktør L.P. Prahm, DMI  
9.15 - 9.40 FN's klimakonvention og Kyotoprotokollen ved Ulrik Torp, Miljøstyrelsen  
9.40 - 10.00 IPCC-arbejdet ved Anne Mette K. Jørgensen, DMI  
10.00-10.20 Klimaændringers betydning for skove og skovbrug ved J. Bo Larsen, KVL  
10.20-10.45 Globale og regionale klimascenarier ved Jens Hesselbjerg Christensen, DMI  
10.45-11.15 Kaffe  
11.15-11.30 High resolution global climate scenarios ved Wilhelm May, DMI  
11.30-11.50 Klimaændringer og vandressourcer ved Hans Jørgen Henriksen, GEUS  
11.50-12.10 Klimaændringer - emissionsreduktion i internationalt perspektiv ved John Christensen, UNEP-centret  
12.10-12.30 Etablering af arbejdsgrupper og praktiske oplysninger ved Anne Mette K. Jørgensen, DMI  
12.30-13.30 Frokost

### **13.30-17.00 Fire parallelle arbejdsgrupper med følgende programmer:**

#### **Arbejdsgruppe 1: Klimasystemet (processer, modeludvikling, scenarier)**

DMI's auditorium

- 13.30-14.00 Aktiviteter ved Danish Center for Earth System Science ved Ray Bates, KU
- 14.00-14.20 Klimamodelprojekter ved Danmarks Klimacenter ved Eigil Kaas, DMI
- 14.20-14.40 Klimavariationer og solens indflydelse ved Henrik Svensmark, DMI
- 14.40-15.00 Modelaktiviteter ved MPI ved B. Machenhauer, Max-Planck-Institut für Meteorologie
  
- 15.00-15.15 Kaffe
  
- 15.15-16.00 Præsentation af aktiviteter, databehov og ønsker om samarbejde fra Danmarks Klimacenters interessenter
- 16.00-17.00 Drøftelse af samarbejdsmuligheder og videre arbejde

Referent: Eigil Kaas

Ordstyrer: Leif Laursen

#### **Arbejdsgruppe 2: Fysiske systemer (kyster, grundvandsressourcer, vandløb)**

Forskningsafdelingens mødelokale

- 13.30-14.00 Scenarier for vandstandsændringer og ændringer i det hydrologiske kredsløb ved Jens Hesselbjerg Christensen, DMI
- 14.00-14.20 Drivhuseffektens virkninger på kyster ved Anne Rebsdorf, Kystinspektoratet
- 14.20-14.40 Grundvandsressourcer og klimaændringer ved Richard Thomsen, Århus Amtskommune
- 14.40-15.00 Hydrologisk modellering ved Jens Christian Refsgaard, DHI
  
- 15.00-15.15 Kaffe
  
- 15.15-16.00 Præsentation af aktiviteter, databehov og ønsker om samarbejde fra Danmarks Klimacenters interessenter
- 16.00-17.00 Drøftelse af samarbejdsmuligheder og videre arbejde

Referent: Jens Hesselbjerg Christensen    Ordstyrer: Claus Kern-Hansen

#### **Arbejdsgruppe 3: Biologiske systemer (skove, landbrug, havmiljø og fiskeri, ferskvands-økosystemer m.m.)**

Observationsafdelingens mødelokale

- 13.30-13.45 Climate change and biological response ved Richard Bradshaw, GEUS
- 13.45-14.00 Hydrologi og vegetationsændringer i klimamodeller ved Ole Bøssing Christensen, DMI
- 14.15-14.30 Hydrographic-climatic effects on populations of fish such as cod, plaice and sprat ved Brian MacKenzie, Danmarks Fiskeriundersøgelser.
- 14.30-15.00 Præsentation af aktiviteter, databehov og ønsker om samarbejde fra Danmarks Klimacenters interessenter

15.00-15.15 Kaffe

15.15-15.45 Præsentation af aktiviteter, databehov og ønsker om samarbejde fra Danmarks Klimacenters interessenter (fortsat)

15.45-17.00 Drøftelse af samarbejdsmuligheder og videre arbejde

Referent: Ole Bøssing Christensen

Ordstyrer: Anne Mette K. Jørgensen

**Arbejdsgruppe 4: Andre områder (samfundsmæssige forhold, energiforsyning, trafik m.m.)**  
Vejrtjenesteafdelingens mødelokale

13.30-14.00 Sæsonprognoser ved Henrik Feddersen, DMI

14.00-14.15 Elsektoren og vejret ved Søren Varming, Elsam

14.15-14.30 Flere storme i Nordatlanten? ved Torben Schmith, DMI

14.30-15.00 Præsentation af aktiviteter, databehov og ønsker om samarbejde fra Danmarks Klimacenters interessenter

15.00-15.15 Kaffe

15.15-15.45 Præsentation af aktiviteter, databehov og ønsker om samarbejde fra Danmarks Klimacenters interessenter (fortsat)

15.45-17.00 Drøftelse af samarbejdsmuligheder og videre arbejde

Referent: Torben Schmith

Ordstyrer: Henrik Feddersen

## **Klimaforskningens utmaningar**

*Lennart Bengtsson, Max-Planck-Institut für Meteorologie*

Det är en stor förnöjelse för mig att delta i invigningen av Danmarks klimatcentrum här vid det Danska Meteorologiska Institutet. Låt mig gratulera Trafikministeriet och Institutet till detta enastående initiativ.

Det är speciellt glädjande att se att de flesta nordiska länderna mer eller mindre nu har etablerat särskilda centra för klimaforskning och därmed klart indikerat att de avser att spela en viktig roll på detta forskningsområde på samma sätt man under många år har gjort inom den numeriska prognosmeteorologin.

Vilka problemställningar arbetar klimaforskningen med idag? För att motivera en utökad satsning inom klimaforskningen räcker det inte enbart att ha intressanta problem, problemen bör även vara möjliga att lösa och helst leda till praktiska eller åtminstone användbara resultat. Jag kan knappast föreställa mig att en "agency" som det danska meteorologiska institutet enbart kan ägna sig åt klimaforskning som "an Ding an sich" dvs. ren grundforskning utan tanke på praktiska resultat.

Mot denna bakgrund vill jag nämna tre centrala huvudproblem inom dagens klimaforskning vilka direkt eller indirekt är viktiga för ett meteorologiskt institut åtminstone på lång sikt. Dessa är:

- Klimatprognoser från årstider till något år eller längre
- Längre klimatprognoser över dekadiska förlopp
- Beräkningar av ev. framtida klimatändringar

### **Klimatprognoser från årstider till något år eller längre**

Det ytterst framgångsrika arbetet inom TOGA-programmet har på kort tid gjort det möjligt att prognosera El Niño-fenomenet mer än ett år i förväg och likaså gett oss möjligheter att beräkna de storskaliga effekterna av El Niño på det globala vädret. Kvaliteten på dessa beräkningar varierar från plats till plats, de är bäst i tropikerna och över den amerikanska kontinenten, över Europa är effekten mindre och ej lika prediktabel. Det förefaller dock troligt att en mera detaljerad kunskap över havstemperaturens förändring över andra havsområden som till exempel över Atlanten (huvudsakligen den tropiska delen) kan förbättra prognosmöjligheterna över Europa. Det fortsatta forskningsarbetet kräver framför allt bättre kopplade modeller samt om möjligt ett bättre observationsunderlag för havens övre skikt. Även vatten och energi-utbyte med landytan spelar en viktig roll för denna typ av prognosberäkningar och förbättringar av prognosmodellerna är här av högsta angelägenhet.

### **Längre klimatprognoser över dekadiska förlopp**

Längre variationer på ett decennium eller längre spelar en dominerande roll i klimatet på våra breddgrader. Både numeriska modellexperiment och teoretiska studier indikerar att de klimatvariationer som har ägt rum under innevarande sekel har dominerats av naturliga klimatvariationer.

Huruvida dessa beror på externa eller interna processer kan inte för närvarande avgöras. Modellberäkningar visar emellertid att det inte är nödvändigt att lansera externa processer som variation i solstrålningen intensitet eller liknande. De interna dynamiska processerna har variationer i tid och rum är tillräckligt omfattande för att förklara de observerade observationerna. Den intressanta frågan är om de är prediktbara eller inte och i så fall hur länge och i vilken utsträckning.

Max Planck Institutet i Hamburg genomför för närvarande en intressant undersökning i samarbete med kolleger i Ryssland och Kasackstan för att få kunskap i de omfattande variationer i Kaspiska havets vattenstånd som ägt rum under detta sekel. Under tiden 1933 till 1976 sjönk vattenståndet med nära 3 meter, varefter vattenståndet började stiga. Denna stigning har praktiskt pågått med oförminskad takt tills för något år sedan och är nu praktiskt taget på samma nivå som i början av 1930-talet. Det har visat sig att variationerna i vattenståndet beror på vattenflödet i Volga och därvid till variationer i nederbörd inom Volgas avrinningsområde. De numeriska modellexperimenten antyder liknande variationer och likaså att dessa sannolikt är kopplade till temperaturvariationer i de tropiska haven.

### **Beräkningar av ev. framtida klimatändringar**

Klimatändringar till följd av växthusgasökningen har uppmärksammats mycket på de senaste åren och avsevärda bidrag har gått till detta arbete. Studier visar att problemet är ytterst komplext då det existerar en mängd andra effekter som påverkar och kan förändra klimatet i tillägg till växthusgaserna, koldioxid, metan, kvävedioxid osv., av vilka koldioxid endast bidrar med litet mer än hälften. Atmosfärens mängd av aerosoler spelar med största sannolikhet en viktig roll (huvudsakligen en avkylande på grund av sulfataerosoler). Detta sker direkt genom ökad reflektion av solljus och indirekt genom ett förhöjt molnalbedo till följd av förändrade optiska egenskaper till följd av sulfataerosolerna. Denna indirekta effekten är ytterst svår att bestämma med ger sannolikt ytterligare en avkylande effekt. Ändringar i atmosfärens halt av ozon måste likaså beaktas då ozon också har en effekt på strålningsbalansen. Slutligen spelar partikelmoln i stratosfären från vulkanutbrott en avgörande roll.

Pinatubovulkanens utbrott 1991 gav upphov till en markant avkylning . Detta i förening med aerosoler och reduktionen av stratosfäriskt ozon under de senaste årtiondena har i stort kompenserat växthuseffekten under denna tid.

Speciellt viktiga uppgifter är att bedöma den regionala effekten av en klimatändring. Detta är ytterst svårt inte minst i Nordeuropa där den naturliga variationen är synnerligen stor. Ensemble beräkningar är här nödvändiga för att bättre separera "signal" från "noise".

## **Danmarks Klimacenter - samarbejdsrelationer og organisering**

*Anne Mette K. Jørgensen, Danmarks Meteorologiske Institut*

Danmarks Klimacenter er oprettet som led i regeringens handlingsplan "Danmark som foregangsland". Hovedformålet er kortlægning af den sandsynlige klimaudvikling i næste århundrede - globalt og i Danmark - og indflydelsen på det danske samfund. Centrets opgaver omfatter

- teknologiudvikling til klimaovervågning - herunder bedre brug af satellitbaserede målinger.
- forbedring af klimamodellerne og studier af klimaprocesserne (fx Sol-klimarelationer, El Niño og Nordatlantisk strøm, sæsonprognoser)
- beregning af globale og regionale scenarier for fremtidens klima
- vurderinger af virkninger af fremtidige klimaændringer

Danmarks Klimacenter kan ikke løse alle disse opgaver alene, men både det nationale og internationale samarbejde søges udbygget.

DMI deltager i dag i en lang række europæiske projekter, som støttes af EU-kommissionens ramme-forskningsprogrammer (se fx DMI Technical Report 98-3). Vigtige samarbejdspartnere er bl.a. Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI) i Hamborg og Météo France. Vi deltager også i nordiske projekter, og klimacentret er ved at etablere formelle aftaler om forskningssamarbejde med de nordiske meteorologiske institutters klimaprogrammer/centre.

Et andet af centrets formål er at koordinere klimaforskningen i Danmark. Danmarks Klimacenter inviterer derfor til samarbejde gennem bl.a. Dansk Klimaforum, som oprettes for centrets medarbejdere, samarbejdspartnere og interessenter. Dansk Klimaforum vil afholde temadage, seminarer og workshops. Formålet med den første workshop den 30. april er netop at få etableret kontakter og at få defineret hvilke typer af informationer, der er brug for til forskellige tværfaglige - studier.

Danmarks Klimacenter forventes også at få samarbejde med det nyetablerede Grundforskningscenter for Jordens klima og Biogeokemiske Kredsløb DCESS ved Københavns Universitet om bl.a. uddannelse af ph.d.'er. Der kunne også tænkes etableret andre samarbejdsprojekter, hvor resultater fra grundforskningen kunne anvendes af Danmarks Klimacenter, der har anvendt forskning og nyttiggørelse i samfundet som formål.

Det tredje hovedformål for Danmarks Klimacenter er at formidle viden om klima og klimaændringer, dels til andre forskere, dels til offentligheden og politikerne. Information til offentligheden om klimaspørgsmålet er tillagt stor betydning i Agenda 21, i FN's Klimakonvention og i Kyotoprotokollen. Klimacentret bidrager således til Danmarks opfyldelse af de internationale aftaler. Formidlingen vil ske gennem Dansk Klimaforum samt et nyhedsbrev, instituttets webserver og rapporter og artikler, herunder artikler til pressen og populærvidenskabelige tidsskrifter.

Danmarks Klimacenter er placeret i DMI's Forsknings- og udviklingsafdeling, integreret med de grupper, som fx arbejder på EU-projekterne. Der er etableret en programkomité til at udarbejde et mere detaljeret program for centret og til at rådgive i øvrigt. Der er to eksterne eksperter i komitéen, professorerne Ray Bates fra Københavns Universitet og Bennert Machenhauer fra MPI i Hamborg. Forskningsleder Leif Laursen, DMI er udpeget som formand.

### **Klimacentrets aktiviteter og planer**

*Leif Laursen, Danmarks Meteorologiske Institut.*

Ved oprettelsen af Danmark Klimacenter (DKC) ved DMI blev der i løbet af kort tid stillet forslag om en lang række aktiviteter, som med rette kan lægges ind under den overordnede målsætning for det nye center. Bevillingen til klimacenteret kan ikke bære alle de relevante forslag, så en prioritering af opgaverne er nødvendig. Tilsvarende er det umiddelbart klart, at nye initiativer og aktiviteter skulle opfylde en række betingelser:

- Nye initiativer skal bidrage væsentligt til Danmarks Klimacenters overordnede mål.
- Ekspertise skal være til stede eller kunne etableres med en overskuelig indsats.
- Samdriftsfordele med eksisterende interne og eksterne projekter skal fremmes.
- Forbrug af tekniske ressourcer, specielt EDB, skal ligge indenfor eksisterende rammer.

En væsentlig opgave for Danmarks Klimacenters programkomité er at foretage en overordnet prioritering af de forskellige indsatsområder med udgangspunkt i behov og eksisterende muligheder.

DMI har gennem en bevidst satsning i de senere år øget indsatsen på klimaforskningen. Denne satsning kombineret med et omfattende samarbejde med danske og udenlandske partnere inden for Nordisk Ministerråd og EU's forskningsprogrammer giver gode udgangsbetingelser for DKC.

Programkomitéen har også noteret at ved den seneste udbudsrunde i EU's miljø og klimaprogram fik DMI en række projekter, der er meget relevante for Danmarks Klimacenter. Det er derfor naturligt at benytte de muligheder som dannelsen af Danmarks Klimacenter giver til at udbygge de områder hvor vi er godt i gang, samt supplere indsatsen på områder hvor en øget indsats er mest nødvendig. Med dette udgangspunkt har programkomitéen gennemgået igangværende og foreslåede aktiviteter. Her skal kort nævnes de væsentligste anbefalinger fra programkomitéen.

Realistiske scenarier af klimaudviklingen i det næste århundrede beregnes med modeller af det samlede klimasystem. Tilsvarende er sådanne koblede atmosfære/oceanmodeller nødvendige i forbindelse med beregning af sæsonprognoser, som er en væsentlig aktivitet for DMI. På denne baggrund har programkomitéen efter nøje overvejelser valgt at anbefale dette emne som et nyt indsatsområde for Danmarks Klimacenter. Denne indsats anbefales knyttet til et ønsket udvidet samarbejde med Max-Planck-Institut für Meteorologie i Hamburg.

Herudover anbefaler komitéen at Danmarks Klimacenter udvider indsatsen inden for området Sol-Jord fysik. Den af Friis-Christensen og Lassen påviste høje korrelation mellem temperaturen på Jorden og Solens aktivitet er interessant, og senere har Svensmark og Friis-Christensen fundet en anden påfaldende sammenhæng mellem skydække og kosmisk stråling. Fysikken bag disse sammenhænge bør undersøges yderligere inden for Danmarks Klimacenter, og det skal nævnes at et samarbejde herom med CERN er under etablering. Dette arbejde peger også på behovet for øget viden om de mikrofysiske processer i forbindelse med skydannelse.

Komitéens anbefaler også at det banebrydende arbejde som Machenhauer og Hesselbjerg har startet i forbindelse med den regionale klimamodel HIRHAM, der er nært knyttet til DMI's prognose del HIRLAM, skal udbygges med henblik på etablering af de bedst mulige regionale scenarier for klimaet i Danmark, Færøerne og Grønland.

Programkomitéen er opmærksom på betydningen af andre igangværende aktiviteter betydning for en samlet indsats; men finder at der inden for tre nævnte områder er et særligt behov for en styrkelse nu. Udover forskningsindsatsen foreslår programkomitéen et program for gæsteforskere og ph.d. studier.

## Virkninger af klimaændringer i Danmark

Jes Fenger, Danmarks Miljøundersøgelser

I sine erindringer fra København omkring århundredeskiftet fortæller Carl Mussmann om et foredrag i "Industriforeningen". Dets konklusion var, at det 19. århundrede havde bragt så mange opfindelser, at man ikke skulle vente sig noget videre af det 20.

*" Det nye århundrede vil i det store og hele på det tekniske område udnytte, forbedre og fuldkommengøre det gamle århundredes opfindelser, samtidigt med at det vil sætte hele sin overskydende kraft ind på det sociale og kulturelle udviklingsarbejde i fredens og fremskridtets tjeneste".*

Sådan kan man jo blive så overrasket. Og jeg tvivler på, at nogen tør stille sig op i "Ingeniørforeningen" om to år og sige noget tilsvarende. For både vores problemer og vores teknologiske muligheder er jo i bogstaveligste forstand vokset ind i himlen. Vores stigende energiforbrug, der i alt væsentligt dækkes med fossile brændsler, får atmosfærens indhold af kuldioxid til at stige, og blandt andet landbrugsaktiviteter medfører udsendelse af metan og lattergas. Det forrykker varmebalancen i Jord-atmosfære systemet og truer nu med globale klimaændringer.

Det mellemstatslige klimapanel (IPCC) vurderer at en fortsat udvikling svarende til en effektiv fordobling af CO<sub>2</sub>- koncentrationen i løbet af de næste 100 år kan give temperaturstigninger på et par grader og stigninger i havenes vandstand på ½ meter. Hertil kommer ændringer i nedbør, hyppighed af storme og meget andet. Resultaterne afhænger noget af, hvilke antagelser man gør - bl.a. om den fremtidige energiforsyning, men virkninger synes der at blive i alle tilfælde. Det rejser tre fundamentale spørgsmål:

- Kan vi overhovedet stole på sådanne vurderinger?
- Vil det i givet fald give problemer?
- Og hvis ja, hvad kan vi gøre for at forhindre eller afbøde dem?

Man kan se på hele denne eksersits med mere eller mindre velbegrundet skepsis - og det er der da også både velmeriterede meteorologer og yngre lektorer i statsvidenskab, der gør. Men hvis man - som det IPCC kalder "policymaker" - tror så meget på den, at man lader den styre sin energipolitik - og i særdeleshed hvis man tror, at vi allerede har set begyndende tegn på menneskelig påvirkning af klodens klima - må man også tro, at disse effekter ikke kan undgås helt.

Der er ingen logik i at skræmme befolkningen med dommedag i overmorgen, og samtidig antyde at hele truslen vil forsvinde, hvis vi nøjes med at tage koldt styrtebad inden vi cykler til arbejde.

Den nylige klimakonference i Kyoto, der jo strengt taget slet ikke var nogen klimakonference, men en konference om reduktion af udslip af drivhusgasser, gav kun beskedne resultater. Den afgangende formand for IPCC, Bert Bolin skrev efterfølgende i det internationale tidsskrift "Science" (med jævne ord):

- at politikerne næppe indså problemernes omfang og tidshorisont
- og at aftalerne ikke ville have nogen nævneværdig effekt.

Hertil kommer at det ser ud til at blive svært at holde parterne fast på de aftalte beskedne udslipsbegrænsninger.

En stabilisering af situationen svarende til at der kun sker en fordobling af CO<sub>2</sub>-koncentrationen i forhold til den før-industrielle niveau med de dermed følgende klimaændringer vil nemlig efter beregningerne kræve, at de globale udslip på længere sigt reduceres til omkring en tredjedel af de nuværende - og det i en situation hvor Jordens befolkning fordobles og U-landenes levestandard skal



kraftigt forbedres. Det er måske ikke flat umuligt, for menneskene er opfindsomme, men det er sandelig en udfordring!

I De forenede Nationers rammekonvention om klimaændringer (UNFCCC) erkendes det da også, at klimaændringer ikke kan undgås, men skal begrænses i en balance mellem en klimatilpasning og en bæredygtig økonomisk udvikling.

Det kræver undersøgelser af virkninger af klimaændringer og mulighederne for tilpasning til dem. Det må nødvendigvis ske i lille geografisk skala, og man støder her mod den vanskelighed, at klimafremskrivninger i så fald er endnu mere usikre end når det kun gælder globale gennemsnit.

Ikke desto mindre har over 50 lande gennemført sådanne undersøgelser. Og vi har også gjort det i Danmark - senest i 1996, hvor vi tog udgangspunkt i IPCC's klimafremskrivninger i den anden hovedrapport. Og lad mig skynde mig at nævne, at vi hverken forholdt os til solpletter eller drastiske ændringer i Golfstrømmen.

Den resulterende bog (og en tilsvarende fra 1992) blev stærkt kritiseret - mest af miljøorganisationer, men også af enkelte engagerede journalister. Man fristes til at tro, at det ikke kan have været helt uden sammenhæng med, at de umiddelbare virkninger for Danmark synes at være til at håndtere og i flere tilfælde endda direkte positive. Der er imidlertid ikke noget mærkeligt i dét. På samme måde som Danmark, når det gælder konventionel luftforurening, er begunstiget af vores topografi og de fremherskende vinde, er vi - når det gælder klimaændringer - heldigt placeret i det globale vegetationsmønster, hvor vi ligger i den nordlige del af det tempererede skovområde.

Ser vi på Europa svarer de fremskrevne temperaturstigninger til at temperaturmønsteret flytter nogle hundrede kilometer mod nord, og vi får måske noget der svarer til det London har i dag. Vi sagde tidligere Bordeaux, men værdierne er blevet reduceret i de senere vurderinger. Nu er der jo mere mellem himmel og jord end middeltemperaturer - spidsværdier, tidsmønstre, skydække og ikke mindst nedbør spiller en afgørende rolle. Men det antyder, at der ikke er drastiske ting i vente.

Det er alligevel praktisk at være forberedt - i særdeleshed hvis en omstilling tager lang tid som fx i skovbruget. Vores mest udbredte nyttetræ - Rødgranen - trives som bekendt ikke så godt, antagelig delvis fordi den allerede nu har det for varmt. Den vil med fordel kunne erstattes af fx bøg, der foretrækker højere temperaturer. I det hele taget indstiller man sig nu i skovbruget på en mere varieret - og derfor mindre sårbar - sammensætning.

For landbruget er situationen mere kompliceret. Hvis man tilpasser afgrøderne, vil kombinationen af ændrede klimaforhold og højere indhold af kuldioxid i atmosfæren kunne give et øget udbyttepotentiale. Men i praksis kan der komme problemer med miljøeffekter som følge af forøget behov for gødningsmidler og pesticider. Hertil kommer at dansk landbrug er meget eksportorienteret. Ændringer i den øvrige verden kan påvirke afsætningsmulighederne og dermed være af langt større betydning end de umiddelbare klimavirkninger.

Naturen er ikke sådan at styre, og vi må forvente ændringer i udbredelsen og sammensætningen af arter, der lever nær deres klimagrænser. Nogle arter, der i dag kun forekommer sporadisk i Danmark, vil antagelig helt forsvinde, medens andre kan dukke op. Derved kan hele økosystemer blive belastet.

Højere temperaturer vil betyde besparelser ved rumopvarmning og lettere trafik om vinteren. Til gengæld vil det nok blive slut med at stå på ski.

Danmark er jo et ret fladt land og vandstandsstigninger kan derfor give problemer i lavtliggende områder og mange kystbyer. Man må også forvente en forøget kysterosion. Mig bekendt tages de forventede vandstandsstigninger som følge af klimaændringer imidlertid sjældent i betragtning ved dimensionering af havne, broer og andre kystnære anlæg. De synes heller ikke at indgå i overvejelser om en påtrængende reovering af vore kloakanlæg.

Nu udgør Danmark befolkningsmæssigt kun ca. 1 promille af hele verden og arealmæssigt endnu mindre, så disse vurderinger siger intet om problemernes globale omfang. Vi har heller endnu kunnet forholde os til spørgsmål om "miljøflygtninge" og virkningerne på en lille åben økonomi som den danske. Men det er nødvendigt at vi får kendskab til de ændrede betingelser for at kunne få det bedste ud af dem.

Desværre har vi undertiden oplevet, at diskussioner om tilpasning bliver opfattet som en given op over for den basale målsætning - og dermed som "politisk ukorrekte". En sådan holdning er helt forældet. Der er en voksende erkendelse i den videnskabelige verden af, at hele klimaproblematikken skal ses holistisk og ikke kun som et problem om reduktioner af udslip af drivhusgasser.

Helt på linie hermed blev der ved en nylig IPCC "Workshop on Adaptation to Climate Variability and Change" i Costa Rica rejst kraftig kritik af de hidtidige vurderinger af virkninger og tilpasningsmuligheder. Specielt på følgende tre punkter:

- Man har normalt kun set på et klima svarende til en fordobling af CO<sub>2</sub>-koncentrationen og som om der var tale om en ny ligevægtssituation. Men det vil ikke blive tilfældet i praksis. Der er tale om en udvikling, hvor det er ændringshastigheden, snarere end slutmålet der er afgørende. Og i øvrigt er der ingen der ved hvor vi ender.

- Man undervurderer eller ignorerer vekselvirkningen mellem klimaændringer og andre miljøbelastninger.

- Og endelig - og måske vigtigst - ændringer i socioøkonomiske betingelser og teknologiske muligheder kan blive afgørende, men er overordentlige usikre. Som det blev ironisk udtrykt: "*Man skulle tro økonomien er blevet inddraget for at få meteorologien til at se mere acceptabel ud*".

I IPCC's tredje hovedrapport, der planlægges nu, er der derfor lagt op til, hvad man kunne kalde, "anden generations vurderinger". Hvis Danmark skal spille en rolle her, er det ikke nok at læse faglitteratur og skrive oversigtsværker, der må regulær forskning til. Her vil det oprettede klimacenter kunne levere et indput til et samarbejde med andre institutioner.

## **FN's klimakonvention og Kyotoprotokollen**

*Ulrik Torp, Miljøstyrelsen*

FN's klimakonvention fra 1992 indeholder en bestemmelse om, at de industrialiserede lande skal stabilisere deres udledninger af kuldioxid og andre drivhusgasser, som ikke er omfattet af Montreal-protokollen - inden år 2000 i forhold til niveauet i 1990. EU-landene har betragtet denne bestemmelse som juridisk bindende, mens de fleste andre industrialiserede lande mener, at bestemmelsen kun er vejledende. EU har derfor vedtaget en målsætning om stabilisering af EU's samlede udledning af kuldioxid i år 2000 i forhold til 1990.

På den første konference fra klimakonventionens parter i marts 1995 blev stabiliseringsmålsætningen fundet utilstrækkelig og på den tredje partskonference i december 1997 i Kyoto i Japan blev der d. 12. december 1997 vedtaget en juridisk bindende aftale, som pålægger de industrialiserede lande samlet at reducere deres udslip af seks drivhusgasser med 5,2 % inden år 2010 (2008-2012).

Drivhusgasserne kuldioxid, metan og lattergas skal reduceres med de 5,2 % i forhold til niveauet i 1990. De tre øvrige gasser, de såkaldte industrigasser HFC, SF6 og PFC, skal ligeledes reduceres med 5,2 %, men landene kan frit vælge mellem 1990 og 1995 som referenceår.

Enkelte lande får tilladelse til at øge deres udslip. Island må fx øge sit udslip med 10 %, Australien med 8 % og Norge med 1 %. Lande som Ukraine og Rusland slipper med at stabilisere deres udslip i forhold til 1990. Da begge disse lande har mindsket deres udslip væsentligt siden 1990 på grund af den økonomiske tilbagegang, betyder det at de i praksis kan øge deres udslip i de kommende år, og det åbner mulighed for at landene kan sælge deres "CO<sub>2</sub>underskud" når det som forventet i løbet af nogle år bliver muligt at handle internationalt med CO<sub>2</sub>-kvoter.

De fleste østeuropæiske lande skal reducere udslippene med mellem 6 og 8 %. Japan og Canada skal reducere med 6 %, USA 7 % og EU som helhed med 8 %. EU-landene var op til mødet i Kyoto blevet enige om en samlet reduktion på 10 %, og med en aftale om en indre byrdefordeling der tillod nogle lande at øge deres udslip i perioden, mens andre lande skulle reducere deres - Tyskland og Danmark fx. således med 25 %.

På kommende rådsmøder i EU forventes den interne byrdefordeling at blive justeret i lyset af Kyoto-aftalens målsætning om en reduktion på 8 %.

Kyoto-protokollen skal ratificeres af de nationale parlamenter. Når 55 lande, som samlet repræsenterer 55 % af det globale 1990-udslip har ratificeret protokollen, træder denne i kraft.

Den fjerde partskonference finder sted i Buenos Aires i Argentina i november 1998. De væsentligste emner på konferencen vil være behandling af de udestående problemer med Kyoto-protokollen, nemlig opstilling af retningslinier og betingelser for anvendelse af CO<sub>2</sub>-optag i skove, Joint Implementation, handel med emissionskvoter og Clean Development Mechanism(CDM). CDM kan bedst beskrives som en mekanisme, der vil kunne anvendes ved Joint Implementation mellem I-lande og U-lande. Det er disse fire fleksibilitetsmekanismer, der kan indeholde de såkaldte smuthuller, der i værste fald vil kunne forhindre, at der vil være tale om reelle reduktioner i perioden 2007 - 2012 i forhold til 1990. Et andet væsentligt og meget ømtåleligt emne vil være udviklingslandenes fremtidige reduktionsforpligtelser.

Ud over de internationale aftaler har Danmark en national målsætning om at reducere udslippet af CO<sub>2</sub> fra energi- og transportsektoren med i alt 20 % inden år 2005 i forhold til 1988. Denne og andre målsætninger og de nødvendige virkemidler er indeholdt i regeringens energihandlingsplan fra april

1996 "Energi 21": CO<sub>2</sub>-udslippet fra transportsektoren skal stabiliseres inden år 2005 og den vedvarende energis andel af det totale energiforbrug skal vokse til 12 - 14 % inden år 2005.

## **IPCC og den danske deltagelse**

*Anne Mette K. Jørgensen, Danmarks Meteorologiske Institut*

Som opfølgning på Brundtland-rapporten "Vores fælles fremtid" oprettede FN's særorganisationer for meteorologi (WMO) og miljø (UNEP) i 1988 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC fik til opgave med passende mellemrum at sammenstille og vurdere den videnskabelige litteratur om klimaændringer, deres virkninger, samfundsøkonomiske aspekter samt muligheder for en tilpasning til eller afdæmpning af klimaændringer. Siden FN's klimakonvention UNFCCC trådte i kraft i 1994, har IPCC desuden ydet teknisk og videnskabelig rådgivning til klimakonventionens organer.

IPCC er etableret med et sekretariat ved WMO i Geneve. Prof. Bert Bolin, Sverige var formand fra 1988 til 1997, hvor han blev afløst af Robert Watson, USA. IPCC-arbejdet er organiseret i tre arbejdsgrupper, hver med et formandskab og et bureau. Den overordnede koordinering sker i IPCC's plenarforsamling og i IPCC-Bureauet, der består af formand, fem viceformænd og de tre arbejdsgruppers bureauer, for tiden i alt 30 personer. Der lægges stor vægt på en ligelig repræsentation mellem I-lande, udviklingslande og lande i økonomisk overgang samt repræsentation af alle regioner.

IPCC udsendte sin første vurderingsrapport i 1990. Den anden kom i 1995/96, og her var én af konklusionerne de meget diskuterede sætninger: "Klimaet har ændret sig i de seneste hundrede år. Vurderet samlet antyder ændringerne en skelnelig menneskelig påvirkning af det globale klima."

Arbejdet med den tredje vurderingsrapport, som planlægges udsendt i 2000/2001, er ved at komme i gang. Et første udkast til disposition for rapporten blev drøftet i september 1997, og der blev i januar 1998 indkaldt forslag til hovedforfattere, bidragsydere og såkaldte review-editors. Fra Danmark blev i alt 15 personer foreslået.

IPCC's tredje vurderingsrapport omfatter rapporter fra de tre arbejdsgrupper:

- Videnskabelig vurdering af klimasystemet (Arbejdsgruppe I)
- Regional vurdering af virkninger af klimaændringer samt muligheder for tilpasning (Arbejdsgruppe II)
- Videnskabelig, teknisk, miljømæssig, økonomisk og samfundsmæssig vurdering af muligheder for at begrænse/afdæmpe klimaændringer (Arbejdsgruppe III).

Desuden ventes udarbejdet en såkaldt synteserapport, som skal indeholde en policy-relevant syntese og integration af informationerne i de tre arbejdsgrupperapporter.

I juni/juli vil IPCC-Bureauet invitere udvalgte hovedforfattere til et møde, hvor dispositionen for arbejdsgrupperapporterne vil blive endeligt besluttet, og der vil blive udvalgt teams af forfattere til de forskellige kapitler. Alle kapitler og resuméer vil blive sendt til åbent peer review. Som noget nyt har IPCC besluttet at udpege såkaldte review editors til hvert kapitel. Disse skal - sammen med arbejdsgruppernes bureauer - hjælpe forfattere med at behandle de mange review-kommentarer og sikre at eventuelle kontroverser reflekteres passende i teksten. Rapporternes Summary for Policymakers vil blive godkendt linje for linje i arbejdsgruppen og i IPCC-plenum.

I Danmark koordineres IPCC-arbejdet af Miljøstyrelsen og DMI.

# Klimaændringers betydning for skove og skovbrug

*J. Bo Larsen, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole*

## Skoven som aktør og statist i "drivhusdramaet"

### Skovens særlige rolle og specielle problem

Skovbruget har samfundsmæssigt set et udpræget multifunktionelt sigte. Udover produktion af træ samt juletræer og klippegrønt skal skoven også sikre en lang række andre funktioner og ydelser. Disse ydelser kan være af miljømæssig art, herunder forbedring af lokalklimaet samt beskyttelse af biodiversitet og grundvand, eller funktioner der knytter sig til landskabets kulturelle, æstetiske og rekreative værdier.

Sammenlignet med land- og havebruget er skovbruget karakteriseret ved meget lange produktionstidsrum, idet omdriftsalderen for vore skovtræer varierer mellem 50 og 180 år. Yderligere har skovene ikke blot en rolle som statist, men er også aktør i dette "drivhusdrama", idet træer kan binde CO<sub>2</sub> og således bidrage til en formindskelse af CO<sub>2</sub>-øgningen og dermed en forsinkelse af de forventede klimaændringer.

Disse forhold understreger skovbrugets særlige behov for at kunne sikre skovens langsigtede stabilitet. Derfor udgør drivhuseffekten et specielt usikkerheds moment for skovene og skovbrugserhvervet. Det er således afgørende, at kunne bedømme omfanget og effekten af mulige klimaforandringer, så rettidig tilpasning kan iværksættes.

### Effekten af klimaændringer

Træarterne har gennem evolutionen udviklet specielle krav til voksestedets økologiske rammebetingelser. Tilpasningsevnen overfor ændringer i klimaet varierer derfor meget blandt de forskellige arter.

En temperaturstigning i forbindelse med uændrede eller svagt stigende nedbørsforhold vil svække især rødgranen, der på de fleste lokaliteter i Danmark allerede dyrkes på grænsen af dens klimatiske krav. Specielt vil højere vintertemperaturer svække granen, der er tilpasset et klima med udpræget vinter; rødgranen har således vist udprægede degenerationsfænomener, "røde rødgraner", efter de ekstremt milde vintre 1988/89 og 1989/90. Egen burde derimod kunne drage fordel af et sådant moderat klimaskift. Træarter som douglasgran, grandis og sitkagran burde være relativt tolerante overfor mindre temperaturstigninger, hvis nedbøren ikke kommer i minimum. Dette gælder også for bøg, ask, lind, ær samt de fleste andre danske løvtræarter.

Hvis en temperaturstigning følges af fald i nedbøren og dermed af udpræget sommertørke, vil de fleste af vore skovtræarter svækkes med deraf følgende skovdødsfænomener. Under sådanne fremtidige klimaforhold vil udprægede skift i træartsvalget komme på tale.

Forandrede klimatiske forhold vil kunne påvirke ligevægten mellem patogener og deres værter (træer), herved må en øget patogenitet af allerede kendte skadevoldere anses sandsynlig. Dette kan forventes forstærket derved, at de fleste skadeorganismer (svampe, bakterier, insekter) grundet deres hurtige generationsskifte raskere er i stand til at tilpasse sig et klimaskifte end skovtræerne. Stigende temperaturer vil desuden kunne bidrage til at øge formeringshastigheden hos visse insekter (f.eks. barkbiller) ved at muliggøre flere generationer pr. år og hermed forstærke allerede eksisterende problemer.

Ved stigende temperaturer kan desuden bestemte patogener og insekter, der hidtil af klimatiske årsager ikke har kunnet eksistere i Danmark, vinde indpas og herved stille skovbruget overfor hidtil ukendte problemer.

## Udfordringen

I skovbruget må vi være sikre på, at de træer vi i dag planter, og som er tilpasset de øjeblikkeligt herskende klimaforhold, også vil være stabile og produktive om 50 til 150 år.

De klimatiske forandringer, der blot inden for de kommende 50 år synes mulige, udgør herved en trussel for skovens langsigtede stabilitet og funktionalitet. Det gælder derfor om at tage problemet op med henblik på allerede nu at overveje skovdyrkningsmæssige forholdsregler. Problemets aktualitet i Danmark understreges yderligere af de kommende årtiers omfattende skovrejsningsplaner.

Tages usikkerheden omkring størrelsen af de forventede globale klimaændringer samt mulighederne for uforudsete klimaskift i betragtning, og ses problemet i relation til behovet for regionale prognoser, synes mulighederne for at kunne give konkrete forslag til fremtidig skovdyrkning ud fra bestemte forestillinger vedrørende regional klimaudvikling umiddelbart begrænsede.

Det eneste vi med sikkerhed kan gå ud fra er, at fremtidens klima bliver mindre forudsigeligt end hidtil, og at det med stor sandsynlighed vil blive varmere (især vintrene) og karakteriseret ved større hyppighed af ekstremer (temperatur, nedbør, vind).

Ud fra disse overvejelser må det primære mål være at etablere og bevare skovøkosystemer, der er karakteriseret ved en potentiel høj tilpasningsevne, dvs. maksimal stabilitet under variable rammebetingelser (biotiske såvel som abiotiske). Dette indebærer, at skovtræerne som det dominerende vegetationselement må besidde en størst mulig almindelig tilpasningsevne, hvilket kan realiseres ved at sikrestille en høj genetiske variation. Der er en række skovdyrkningsmæssige muligheder for at opnå dette.

1. Anvendelse af blandingsbevoksninger frem for renbestande: En blandingsbevoksning bestående af to eller flere træarter kendetegnet ved forskelle i økologiske krav og optima vil indebære mulighed for løbende korrektion af driftsmålet i overensstemmelse med klimaudviklingen. En blanding af bøg og rødgran vil f. eks. kunne ende op i en mere eller mindre ren bølgebevoksning, hvis klimaet skulle udvikle sig i en for granen uacceptabel retning; en ren granbevoksning vil under tilsvarende forhold være tabt.
2. Anvendelse af træarter med høj tilpasningsevne: Som nævnt tidligere har vore træarter forskellige økologiske krav og besidder ulige evner til at tilpasse sig forandringer i disse. Egen og bøgen samt en række nordvestamerikanske træarter så som douglas, sitka, nobilis, m.f. er kendt for at besidde en stor tilpasningsevne. De fleste mellemeuropæiske nåletræarter så som rødgran, europæisk lærk og ædelgran synes derimod i vid udstrækning at mangle denne evne. En stigende anvendelse af sådanne "plastiske" arter og en tilsvarende reduktion i arealet af specielt rødgran vil således bidrage til en forøgelse af skovens tilpasningsevne.
3. Overgang til naturnær skovdrift: De skovdyrkningsstiltag, der bedst muligt sikre skoven mod mulige og uforudsete klimaændringer, er i stor udstrækning identiske med principperne for den såkaldte "naturnære skovdrift". Denne dyrkningsform sigter bl.a. imod: 1) opretholdelse af et permanent skovklima ved at undlade renafdrifter, 2) stabilitetssikring og risikospredning gennem etablering af uensaldrende blandingsbevoksninger af lokalitetstilpassede træarter, 3) aktiv bevoksningspleje via hyppige og svage hugster samt 4) sikring af naturlige ligevægte blandt

skovens organismer, herunder skadevoldere, med det mål at fremme biodiversiteten og undgå pesticidanvendelse.

## **Litteratur**

Cannell, M.G.R., Grace, J., Booth, A.(1989): Possible impacts of climatic warming on trees and forests in the United Kingdom: a review. *Forestry*, 62: 337-364.

Eamus, D., Jarvis, P.G.(1989): The direct effects of increase in the global atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on natural and commercial temperate trees and forests. *Adv. Ecol. Res.* 19: 1-55.

Larsen, J.B. (1995): Ecological stability of forests and sustainable silviculture. *Forest Ecology and Management*, 73, 85-96.

Larsen, J.B., 1997: Træarts- og proveniensvalget i et bæredygtigt skovbrug. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift*, 82, 1-252.

Larsen, J.B., 1997: Skovbruget ved en skillevej - teknologisk rationalisering eller biologisk optimering? *Dansk Skovbrugs Tidsskrift*, 82, 277-308.

Luxmoore, R.J., Wullschleger, S.D., Hanson, P.J., (1993): Forest response to CO<sub>2</sub> enrichment and climate warming. *Water, Air, & Soil Pollution*, 70: 309-323.



## **Globale og regionale klimascenarier**

*ved Jens Hesselbjerg Christensen, Danmarks Meteorologiske Institut*

Der foregår til stadighed en løbende videreudvikling og forbedring af de modeller, der anvendes til at beskrive klimasystemet. De mest avancerede klimamodeller er computermodeller af atmosfæren koblet til en tilsvarende model af oceanerne og en model for udbredelse af havis. Herigennem kan man beskrive atmosfærens og oceanernes strømninger og deres indbyrdes vekselvirkninger. De grundlæggende variable for atmosfæren er vind, temperatur, tryk, vanddampindhold og vand bundet i skyerne. Disse modsvares i oceanerne af variable for havstrømme, temperatur, saltindhold og tryk, samt mængden og tykkelsen af havis. Klimamodeller indeholder desuden en beskrivelse af forholdene ved jordoverfladen og i de øverste jordlag, hvor de vigtigste variable er temperatur, fugtighed samt snedække. I modellerne indgår derfor en lang række parametre, der karakteriserer jordoverfladens beskaffenhed. Eksempelvis kan nævnes vegetationstyper og jorbundsbeskaffenhed. Disse parametre har indtil de allerseneste år været taget i betragtning relativt simpelt, men der arbejdes nu meget på at inkludere beskrivelsen heraf så realistisk som muligt.

Modellernes variable er organiseret i et gitternet, der angiver den rumlige nøjagtighed, hvormed forholdene kan beskrives i modellen. For globale modeller er afstanden mellem beregningspunkterne i atmosfæren typisk nogle hundrede kilometer i vandret retning, mens der findes 20 - 30 lag fordelt op til en højde af 30 - 40 km. Noget tilsvarende gælder i oceanerne, dog har det vist sig nødvendigt med noget højere vandret opløsning nær ækvator for at kunne beskrive bl.a. El Niño fænomenet realistisk. I en klimamodel beregnes ændringerne i klimasystemet ud fra et sæt begyndelsesbetingelser fuldstændig som man gør med vejrforudsigelsesmodeller. Herefter beregnes fremad i tiden med tidskridt typisk af en længde på en halv time. Men i modsætning til vejrforudsigelsesmodellen, der kun fremskrives med op til et par uger, regner man gerne snesevis eller endog flere hundrede af år fremad. Det tidsligt midlede - typisk 30 over år - betragtes da som et modelklima. Dette modelklima kan så sammenlignes med det observerede klima, og der er med de mest avancerede modeller i dag en høj grad af overensstemmelse mellem simuleret og observeret middelklima for en række afgørende klimaparametre.

Det har vist sig, at kvaliteten af klimamodeller på regional skala er tæt knyttet til opløsningen. Det er klart, at jo bedre opløsning en model har, jo større computerressourcer kræver beregningerne. Derfor er det selv med vore dages mest kraftige computere ikke muligt at benytte opløsninger på fx 50 km. Med en regional atmosfæremodel har man mulighed for at "fortolke" en global klimamodel på regionale skalaer med højere opløsning på en fysisk fornuftig måde. Denne teknik er blevet udviklet og forbedret betydeligt i de sidste år. Ved DMI har der været arbejdet meget med denne strategi. Da den regionale model har en langt finere horisontal opløsning med helt ned til omkring 20 km mellem beregningspunkterne, kan den beskrive fænomener på en langt mindre skala, specielt fænomener knyttet til bjerge og land-hav kontraster. Kvaliteten af disse modeller er dog endnu ikke påviseligt bedre end de globale modeller på alle områder. Men fordelingen af eksempelvis nedbør er langt mere realistisk end i de grovere opløste globale modeller, og derfor kan vandets kredsløb beskrives mere tilfredsstillende.

Både med globale og regionale modeller har der været udført beregninger af scenarier for fremtidige klimaændringer, primært som følge af et voksende indhold af drivhusgasser i atmosfæren. Men også de direkte effekter af atmosfærisk indhold af aerosoler har været taget i betragtning. Det er vigtigt at holde sig for øje, at man i sådanne beregninger ændrer på koncentrationerne af drivhusgasser og aerosoler i modellerne efter et givet udslip scenario, og derefter lader modellerne selv beregne de ændringer i atmosfærens tilstand dette fører til. Det mest robuste resultat, der er kommet ud af disse beregninger er at den globale temperatur vil stige med et par grader i løbet af det næste århundrede. Andre resultater, der i det væsentlige vil dreje sig om regionale ændringer er langt mere usikre.

Derfor arbejdes der i disse år med at forbedre såvel de globale som de regionale klimamodeller for at kunne øge denne sikkerhed.

## High Resolution Global Climate Scenarios

*Wilhelm May, Danmarks Meteorologiske Institut*

Global Climate scenarios produced by climate models are widely used in order to assess the anticipated change in climate due to an increase of the important greenhouse gases in the future. These climate models typically consist of different components representing the climate system such as the atmosphere, the ocean and the cryosphere incorporating interactions between these different components. The global climate scenarios start at preindustrial times and include both the present and future times, that are 2 to 3 centuries.

Since these models include various components of the climate system, they can only be used at rather low resolution, that is typically a distance of approx. 300 km between neighbouring gridpoints. Due to the coarse resolution, however, certain phenomena cannot be simulated realistically by the model. These are, for instance, severe weather phenomena such as tropical cyclones or storms in the North Atlantic region, but also such a prominent phenomenon as the Indian Monsoon circulation with far-reaching social and economic impacts. Moreover, various regional aspects of climate, i.e. precipitation are simulated more realistically due to a better representation of the orography at higher resolution.

In order to be able to assess the impact of the anticipated change in climate on the phenomena mentioned before we have performed a so-called time-slice experiment with the atmospheric component of a climate model (ECHAM4) at a rather high resolution of approx. 100 km. For two selected episodes, referred to as "timeslices", we have forced the atmospheric model with values of the sea surface temperatures (SSTs) and the sea-ice extent obtained from a simulation with a coupled climate model (ECHAM4/OPYC) at a lower resolution of approx. 300 km. In that simulation the concentrations of the important greenhouse gases have been prescribed according to observations for the past (until 1990) and according to the mid-range IPCC-scenario IS92a for the future. The first time-slice covers the period 1970 through 1999 and represents the present-day climate, whereas the period 2060 through 2089 represents the climate at a time, when the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere has doubled compared to the present-day climate.

Our time-slice experiment has some distinct differences from time-slice experiments performed previously, which make it rather unique. All the previous timeslice experiments have been severely suffering from the short periods of 5 or, at the most, 10 years of simulation. 30 years of simulation, however, are presumably enough to give a robust estimate of the anticipated changes in climate. We have also chosen a different experimental design than most previous experiments of this kind. Instead of a fixed annual cycle we prescribe actual monthly mean values of the SSTs and the sea-ice extent obtained from the simulation with the coupled climate model. By that we are able to incorporate interannual variation of the boundary forcing such as the El Niño/Southern Oscillation phenomenon with its important consequences for both the regional and the global climate. We have initialized the conditions at the land surface in correspondence with the simulation with the coupled climate model instead of using the climatological conditions of the high-resolution model. By that we avoid an imbalance between the state of the land surface and the state of the sea surface and possibly the atmosphere. The data from the time-slice experiment is stored every 6 hours. By that we are not only able to resolve the diurnal cycle, the rather high temporal resolution is also crucial for various applications such as dynamical downscaling with regional climate models, but also for investigations of the social and economic impact of the anticipated change of climate on mankind.

## **Activities at the Danish Center for Earth System Science (DCESS)**

*J. Ray Bates, Københavns Universitet*

The Danish System for Earth System Science (DCESS) was established in December 1997 with a five-year grant from the Danish National Research Foundation. The Center is located at the University of Copenhagen and at Odense University and will have a total staff (scientists, technicians, administrative personnel and PhD students) of 20-25 in Copenhagen and 6-8 in Odense. The Center Director is Prof. Gary Shaffer and the Associate Directors are Prof. Don Canfield and Prof. Ray Bates.

The three main initial research themes of DCESS are:

- Climate System Stability
- Role of the Ocean in the Climate System
- Chemical and Biological Evolution of the Atmosphere and Ocean

Some recent findings within the first theme will be described here. They are concerned with a fundamental problem in climate research, that of explaining the stability of the Earth's climate on long time scales.

Positive feedback mechanisms such as the ice-albedo feedback and the lower tropospheric water vapour feedback are known to exist which could, in principle, drive the climate system far from its observed mean state even in the absence of any external forcings. Extreme scenarios that have been envisaged in the literature are a completely ice-covered earth on the one hand and a runaway greenhouse such as appears to have occurred on Venus on the other

There is at present no generally accepted explanation for the stability of the Earth's climate. The most obvious candidate as a stabilizing mechanism, the basic radiative Stefan-Boltzmann feedback, guarantees only that the emission temperature of the planet will adjust so that the time-averaged outgoing longwave radiation balances the absorbed solar radiation. It places little constraint on the surface temperature. The latter is determined by the strength of the greenhouse effect, which depends not only on the radiative properties of the atmosphere but, perhaps more importantly, on the dynamics of the atmosphere and oceans. A number of possible stabilizing mechanisms have been proposed, based on various processes such as the modulation of solar or infrared radiation by clouds, the effects of upper tropospheric water vapour on outgoing longwave radiation, dynamical feedbacks involving the poleward heat flux by baroclinic eddies, and the feedback effect of the humidity factor in evaporation. All the proposed mechanisms are controversial and their relative importance a matter of debate.

A new stabilizing mechanism has recently been proposed (Bates, 1998). It is based on an empirically discovered linear relationship between the poleward transport of atmospheric angular momentum across  $30^\circ$  latitude and the difference between the mean heights of the 500hPa surface in the tropics and the extratropics. This empirical relationship, which has been found using observed seasonal mean atmospheric statistics, is incorporated into a simple two-zone atmosphere-ocean model, which can be regarded as a zero-order model of the climate system. Assuming that the atmosphere is in a state of dynamic balance on climatic timescales, the torque about the Earth's axis exerted by the tropical surface easterlies balances that exerted by the extratropical surface westerlies, and both are determined by the angular momentum transport across  $30^\circ$ . Regarding the low level relative humidity and air-sea temperature difference as being fixed at their mean observed values, the angular momentum transport then determines the rates of evaporation in the tropical and extratropical zones. The 500hPa height is expressed in terms of the sea surface temperature by using the moist adiabat in the tropical zone and an empirical relationship in the extratropical zone. The solar radiation reaching

the sea surface is prescribed and the net infrared radiative energy loss from the sea surface is parameterized in terms of sea surface temperature using results from a radiative model. The radiative parameterization incorporates the effects of the positive lower tropospheric water vapour feedback. Using energy equations for the tropical and extratropical ocean basins, a mean climate state for the model is determined and the stability of small perturbations about the mean state is examined. Two normal modes solutions of the perturbation equations are shown to exist, both of which are exponentially decaying when the best estimates of all the sensitivity parameters are used. The tendency towards instability resulting from the positive lower tropospheric water vapour feedback on surface temperature perturbations is overcome by a negative feedback resulting from the evaporative heat losses determined by the atmospheric angular momentum transport. Within the limits of the simple model, the stabilizing mechanism is found to be robust, in the sense that stability continues to obtain with large fractional reductions of the parameters determining the rates of evaporation.

#### Reference

-----

Bates, J.R. 1998. A dynamical stabilizer in the climate system: a mechanism suggested by a simple model. (Submitted for publication).

## Klimamodelprojekter ved Danmarks Klimacenter

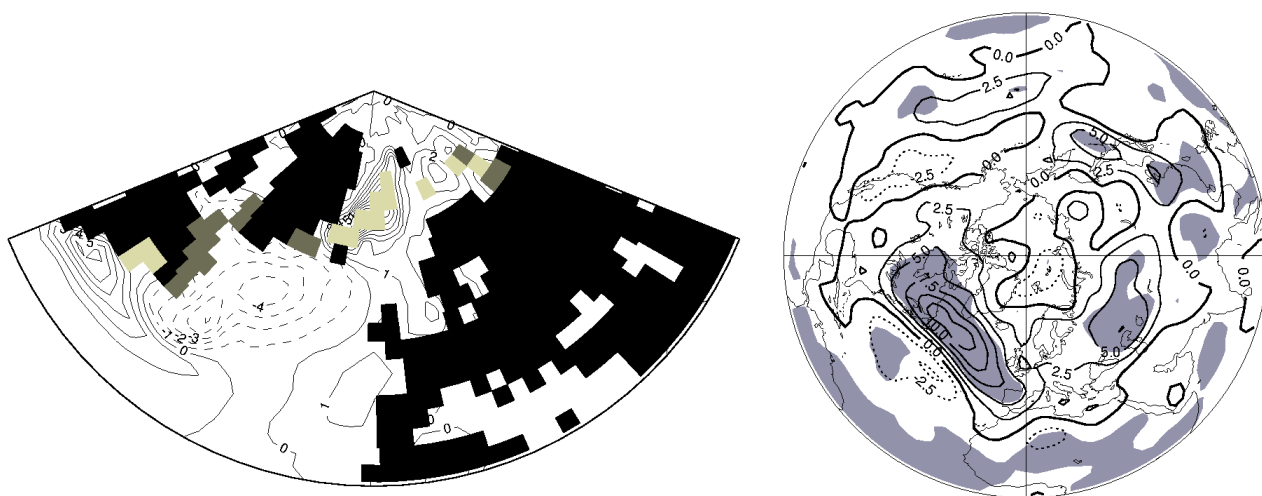
Eigil Kaas, Danmarks Meteorologiske Institut

DMI anvender og vil også i fremtiden ved Danmarks Klimacenter anvende klimamodeller til

- *processtudier,*
- *beregninger af klimatiske konsekvenser af ydre klimapåvirkninger,*
- *påvisning af ydre klimapåvirkninger samt*
- *sæsonprognoser.*

Herudover udvikles og forbedres modellerne løbende. Disse modeller omfatter p.t. to globale atmosfæriske klimamodeller, "ARPEGE/IFS Climat" (oprindelige version udviklet i Frankrig) og ECHAM4 (udviklet ved Max Planck Institutet i Hamborg (MPI)), samt en regional atmosfærisk klimamodel, HIRHAM, som er udviklet i samarbejde mellem DMI og MPI.

Med *processtudier* menes der bl.a. modeleksperimenter, der kan medvirke til at øge forståelsen af koblede atmosfære-ocean processer. De naturlige klimavariationer med tidsskalaer fra omkring ét og op til flere hundrede år er domineret af vekselvirkninger mellem oceaner og atmosfære. Men det er ofte et problem at afgøre, hvorledes vekselvirkningen foregår eller udtrykt på en anden måde at kvantificere, hvor meget og hvordan oceanet påvirker atmosfæren og omvendt. Til at undersøge dette kan man foretage både koblede ocean-atmosfære simuleringer og rene ocean- eller atmosfæresimuleringer. I Figur 1 er vist et eksempel på hvordan usædvanlige fordelinger af havis og havtemperatur påvirker stormaktiviteten i atmosfæren.

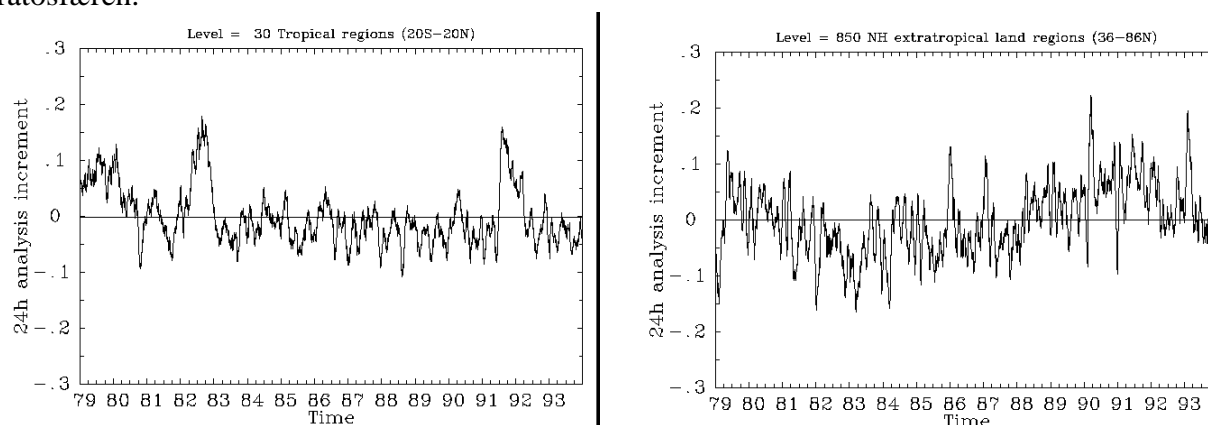


Figur 1. Til venstre vises et kort over anomalier i havis og havtemperaturer ( $^{\circ}\text{C}$ ) i det nordatlantiske område. Usædvanlige områder med åbent vand er let skraveret, mens usædvanlige forekomster af havis er mørkt skraveret. Havtemperaturanomalier er vist med konturinterval på  $1^{\circ}\text{C}$ , med negative værdier stiplede. Th. ses simulerede anomalier i stormaktivitet, her beregnet som standardafvigelse af højfrekvent variabilitet af 500 hPa fladens højde. I simuleringerne er ARPEGE klimamodellen blevet påvirket med de viste anomalier i havis og -temperatur (tv.). Der er (th.) tale om en forøgelse af stormaktiviteten på 10-15% syd for Grønland og Island.

Med *ydre påvirkninger af klimaet* tænkes der først og fremmest på den menneskeskabte ændring af atmosfærens sammensætning (drivhusgasser inklusive ozon og aerosoler), variationer i solens aktivitet og på vulkansk aktivitet. DMI har specialiseret sig i anvendelse af modeller med fin rumlig opløsning (regional klimamodel og en relativt detaljeret global atmosfærisk model). Disse anvendes

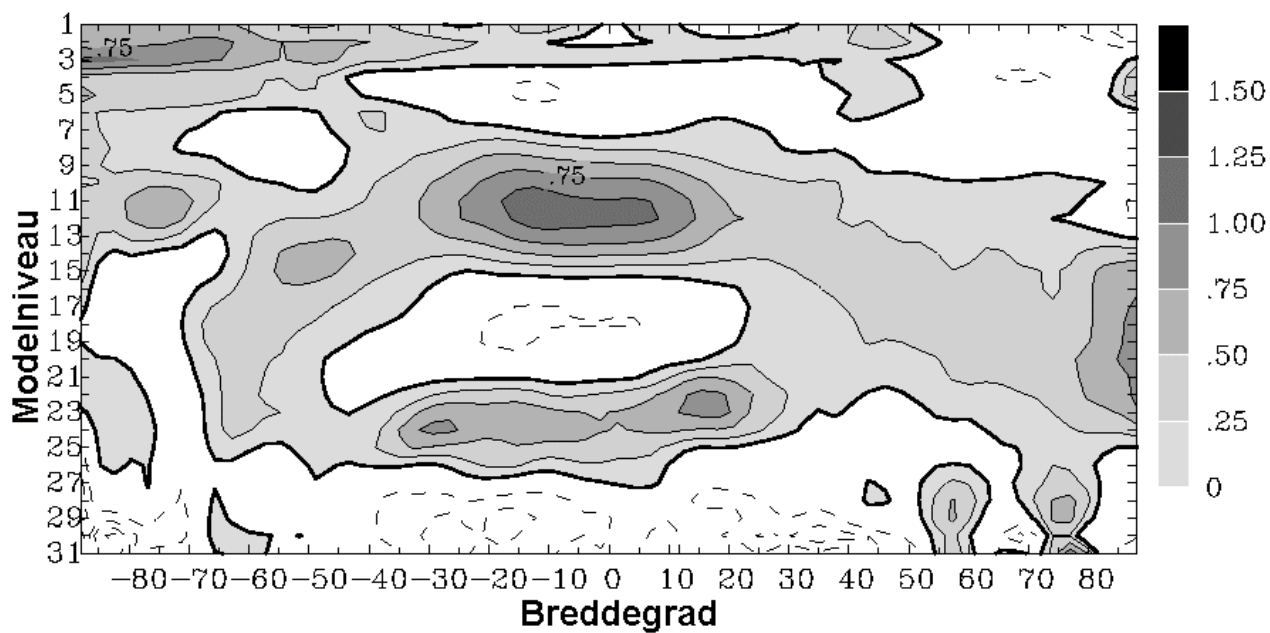
til at foretage en lokal fortolkning af resultater fra mere grovmaskede globale koblede modeller. For at kunne sætte de beregnede ændringer i perspektiv, er det væsentligt at kunne sammenholde dem med størrelsen af de naturlige klimavariationer på relativt korte tidsskalaer, dvs. mindre end et par hundrede år.

Atmosfæremodeller kan i kombination med observationer også anvendes til at *detektere og estimere størrelsen af ydre klimapåvirkninger*. Figur 2 viser et eksempel på beregning af den ydre varmepåvirkning i den nedre stratosfære og den nedre troposfære i perioden 1979-1993. Man kan i eksemplet tydeligt se de to store vulkaner (El Chichon 1982 og Mount Pinatubo 1991), specielt i stratosfæren.



Figur 2. Anomalier ( $^{\circ}\text{C}$ ) i forskel mellem 24 timers prognoser og gældende analyser (observationer) for temperatur i perioden 1979-1993. Disse anomalier giver et overslag ydre påvirkning af atmosfæren. Tv. vises den nedre stratosfære (30 mb) i troperne og til højre den nedre troposfære (850 mb) over den nordlige halvkugles (36-86N) landområder, hvor observationstætheden (radiosonder) er høj. I forbindelse med El Chichon (1982) og Pinatubo (1991) kan man se varmetilførsel i stratosfæren og afkøling i troposfæren.

*Sæsonprognoser* er et område, der har udviklet sig meget stærkt i de senere år, og det vil også blive et af klimacenterets væsentlige indsatsområder, idet moderne sæsonprognoser i høj grad baseres på koblede klimamodeller. Ved DMI anvendes i øjeblikket både en statistisk sæsonprognosemodel baseret på historiske målinger af vejr og hav og en koblet model, som køres ved ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) i England. Der foretages desuden en særlig type empirisk efterbehandling af resultaterne fra den koblede model så prognosesandsynlighederne bliver mere realistiske. Et af problemerne med sæsonprognoser baseret på klimamodeller er, at der ofte ser ud til at være tydeligt forudsigelige anomalier i modellerne, men at disse anomalier ikke ligger helt korrekt placeret på kloden i forhold til det faktisk indtrufne. Derfor deltager DMI i et internationalt forskningsprojekt, hvor man empirisk søger at korriger/optimere de differentiallyigninger, som de atmosfæriske modelkomponenter baseres på. Når de korrigerede modeller dernæst anvendes til sæsonprognoser, forventes det at de forudsagte anomalier i modellerne bliver mere korrekte og mere korrekt placeret. Figur 3 viser et eksempel på de opvarmningsfejl, der er identificeret i ARPEGE modellen. Disse fejl vil direkte påvirke termodynamikkens første hovedsætning, som er en af de basale differentiallyigninger.



Figur 3. Beregnet zonalt gennemsnit af temperaturforcing (konturinterval er 0,25 K/dag og negative værdier stiplede), som er nødvendig for at undgå fejl i ARPEGE modellen. Denne forcing er altså lig minus forceringsfejlen i modellen, og den er størst i troperne mellem modelniveau 11 og 12 (ca. 275 hPa).



## Solens indflydelse på Jordens klima

Henrik Svensmark, Danmarks Meteorologiske Institut

Et af de emner, som ofte forekommer i dagens debat, er årsagen til at Jordens klima ændrer sig. Dette fundamentale spørgsmål, som både har et politisk og et videnskabeligt aspekt, er meget vanskeligt at besvare, da de mange vekselvirkninger i klimasystemet er komplicerede og kun delvist forståede. Men nyere forskning antyder, at Solen er mere betydningsfuld end hidtil antaget, og at ændringer i Solens aktivitet kan forklare en stor del af klimaforandringerne.

Spekulationer om en sammenhæng mellem Solens aktivitet og Jordens klima har eksisteret lige siden astronomen William Herschel for snart 200 år siden foreslog, at der kunne være en forbindelse. Men da man indtil nu ikke har kunne finde en acceptabel fysisk forklaring på de mange observerede korrelationer, er en sammenhæng blevet mødt med skepsis og af de fleste bortforklaret som værende tilfældig. I 1991 publicerede Friis-Christensen og Lassen et resultat der meget stærkere end hidtil antydede, at der måtte være en sammenhæng. De viste, at Jordens temperatur gennem de sidste fire hundrede år har varieret i overensstemmelse med solcykluslængden (Friis-Christensen og Lassen, 1991; Lassen og Friis-Christensen, 1995). Den mest simple forklaring ville være mulige variationer i Solen udstråling. Imidlertid har satellitmålinger af solkonstanten vist, at den kun varierer 0.1% i løbet af en solpletperiode, hvilket er for lidt til at forklare de observerede temperaturvariationer. Derfor har interessen været rettet mod mere indirekte måder, hvorpå solaktivitet kunne påvirke Jordens strålingsbalance - altså en søgen efter en mekanisme i atmosfæren, der er i stand til at forstærke selv små ændringer i solaktiviteten. I denne forbindelse har min forskning været rettet mod den galaktiske kosmiske stråling, der til stadighed trænger ind i Jordens atmosfære. Strålingen består af meget energirige partikler, og det antal, der når Jorden, begrænses af solvinden og moduleres dermed af solaktiviteten. Denne forskning har demonstreret, at Jordens skydække følger variationerne i den galaktiske kosmiske stråling (Svensmark og Friis-Christensen, 1997). Gennem den sidste solcyklus (ca. 11 år) varierede Jordens skydække med ca. 3 % - En sådan variation betyder en ændring af den stråling, der rammer Jordens overflade, svarende til 1 til 2 W/m<sup>2</sup>. Dette er tilstrækkeligt til at påvirke klimaet måleligt. Til sammenligning kan nævnes, at den samlede menneskeskabte drivhusvirkning af CO<sub>2</sub> siden 1750 er beregnet til 1.5 W/m<sup>2</sup> (IPCC, 95). Forbindelsen mellem skyer og kosmisk stråling er derfor en meget plausibel kandidat til det længe søgte forbindelsesled mellem Solens aktivitetsvariationer og Jordens klima.

### Litteratur

E. Friis-Christensen and K. Lassen, *Science*, **254**, 698 (1991).

IPCC, Climate Change 1995: The science of climate change. *WMO & UNEP* (1995).

K. Lassen and E. Friis-Christensen, *J. atm. terr. Phys.*, **57**, 835 (1995).

H. Svensmark and E. Friis-Christensen, *J. atm. sol.-terr. Phys.*, **59**, 1225 (1997).

## Modelaktiviteter ved MPI

*Bennert Machenhauer, Max-Planck Institut für Meteorologie*

Efter en kortfattet oversigt over de koblede atmosfære-oceanklimamodeller, som anvendes ved MPI i Hamburg, præsenteredes nogle få resultater fra en række klimaændringseksperimenter, som netop er afsluttet der.

Først præsenteredes resultater fra en rækken ligevægtseksperimenter hvori effekten af observerede (estimerede) ændringer af atmosfæriske bestanddele for perioden 1860-1990 blev simuleret ved brug af en simplificeret koplet model (T30 ECHAM4, L19 / 50 m blandingslags-ocean med termodynamiske havismodel). De resulterende stråleforcinger, temperaturændringer og modelsensitiviteter, alle globale middelværdier, er anført i følgende tabel:

**Table 1: Ligevægtseksperimenter. Globale Middelværdier med IPCC'95 Estimer I Parantes.**

Eks. nr.	Komponent(er) ændret (1860-1990)	Srålingsforcing (W/m <sup>2</sup> )	Temperaturændring (°C)	Modelsensitivitet
1	Drivhusluftarter (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CFC's)	2,12 (IPCC: 2,45)*	1,85	0,87
2	Troposfærisk Ozon	0,37 (IPCC: 0,2 til 0,6)	0,33	0,87
3	Sulfatpartikler (Direkte Effekt, partikernes spredning af sollys)	-0,34 (IPCC: 0,2 til -0,8)	-0,29	0,85
4	Sulfatpartikler (Indirekte Effekt, Skyers refleksion af sollys)	-0,89 (IPCC:0,0 til 1,5)	-0,76	0,85
	Sum af eks. 1- eks. 4	1,26	1,13	
5	Alle effekter, eks. 1 - eks. 4, inkluderet	1,26	1,09	0,87

\* IPCC værdi fra 1750 til 1994

I eksperimenterne hvor massetætheden af sulfatpartiklerne ændredes blev denne beregnet "online" i et tilkoblet fysisk-kemisk modelmodul ud fra estimerede ændringer i de antropogene kilder for CO<sub>2</sub> i tidsrummet 1860-1990. Også tværsnit af zonalt midlede temperaturændringer præsenteredes for disse eksperimenter, hvoraf det bl.a. fremgår at den medtagne indirekte sulfatpartikkeleffekt (forøget skyrefleksion) medfører en stærkt reduceret opvarmning over Arktiske områder. Andre nyligt foretagne eksperimenter hvori effekten af sulfatpartikler på skydækket, den anden kendte indirekte effekt af svævende sulfatpartikler i atmosfæren, var forsøgt inkluderet, har vist at denne effekt er stærkt afhængig af en præcis parameterisering af skydækkets og nedbørudløsningsafhængighed af sulfatpartikkelkoncentrationen. Eksperimenterne har vist at et forøget kendskab til de involverede mikrofysiske processer er nødvendigt før en realistisk simulering af denne effekt kan opnås. Vurderingen af en anden effekt som delvis ophæver sulfatpartiklernes afkølede effekt, nemlig effekten af absorberende partikler (sodpartikler), er også under forberedelse på MPI. Foreløbige vurderinger tyder på at denne effekt omtrentlig ophæver den direkte sulfatpartikkel effekt i den globale middelforcing.

Dernæst præsenteredes resultater af nyligt afsluttede eksperimenter af transiente ændringer for perioden 1860 til 2050 eller 2100. I disse benyttes den koblede model i fuld opløsning (T42 ECHAM4, L19 / OPYC3, L11 oceanmodel med blandingslag og dynamisk-termodynamisk havis-modul). I eksperimenterne ændres drivhusluftarterne og de antropogene SO<sub>2</sub> kilder gradvist som observeret fra 1860 til 1990 og fra 1990 og fremover som foreskrevet i IPCC scenariet IS92a, opdateret til konsistens med IPCC (1996). De foretagne eksperimenter er opstillet i følgende tabel:

**Table 2: Transiente Simuleringer**

Forkortelse	Komponent(er) ændret	Periode / År
<b>GHG</b>	Drivhusluftarter (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CFC's)	1860-2100
<b>GSD</b>	GHG plus Sulfatpartikler ( kun direkte effekt)	1860-2050
<b>GSDIO</b>	GHG plus Troposfærisk Ozon plus Sulfatpartikler (direkte og indirekte effekt)	1860-2050
<b>CTL</b>	Kontrolsimulering af Nuværende Klima	300

De resulterende projekterede ændringer i den globale middeltemperatur fra præ-industriell tid (1860) til 2050 er henholdsvis 1.6, 2.0 og 2.6°C i GHG, GSD og GSDIO eksperimenterne. Den horisontale fordeling af ændringerne i sidstnævnte eksperiment viser bl.a. en stærkt reduceret opvarmning over Nordatlanten og Europa. Op til 1990 stemmer ændring fra 1860 af den globale middeltemperatur beregnet i GSDIO eksperimentet bedst overens med de observerede ændringer.

Til slut præsenteredes nogle få hovedresultater fra et regional klimaændringseksperiment for Europa foretaget i tæt samarbejde med DMI. Tre 10-års simuleringer med høj horisontal opløsning, gitterafstand 50 km, gennemførtes med en i fællesskab udviklet regionalmodel, dækkende en del af Nordatlanten og hele Europa, og med havoverfladetemperaturer og grænseværdier på de omgrænsede lodrette flader taget fra 10-års perioder af de globale simuleringer. De tre perioder er en tilfældig valgt 10-års periode fra CTL simuleringen og to 10-årsperioder fra GHG simuleringen centreret omkring henholdsvis 1990 og 2075. Resultaterne af disse simuleringer viser at selv med en sådan høj opløsning er beregningen af lokale klimaændringer forbundet med meget stor usikkerhed. Denne konklusion er helt i overensstemmelse med IPCC'95 og med resultaterne af tilsvarende franske og engelske eksperimenter. I disse og vort eksperiment blev værdier af simuleret nedbør og lufttemperatur i de regionale CTL simuleringer i middel over 9 delområder af Europa på størrelse med de større lande (UK f.eks.) sammenlignet med observerede normalværdier fra perioden 1961-90. I mange tilfælde fandtes 10-års sæsonmiddelfejlene af de beregnede nedbørsmængder at være en signifikant størrelse medens tilsvarende ændringer fra 1990 til 2075 ofte fandtes at være insignifikante sammenlignet med interne tilfældige variationer i CTL-simuleringen. De beregnede temperaturstigninger i middel over Europa, som i vort eksperiment er på henholdsvis 3.6, 3.5, 4.4 og 4.7°C i vinter-, forår-, sommer- og efterårssæsonen, er signifikante og alle større end de tilsvarende middelfejl. Temperaturafvigelseerne i del-områderne fra disse europæiske middelværdier er imidlertid ikke signifikante og ofte mindre end de tilsvarende middelfejl. I nogle tilfælde kan fejlene direkte tilskrives fejl i den fysiske parameterisering og i andre tilfælde synes fejl i den almindelige cirkulation at forklare fejlene i nedbør- og temperatursimuleringerne. Da fejlene indvirker på de beregnede lokale klimaændringer og da troværdige beregninger af sådanne ændringer som konsekvens af givne forceringer er nødvendige for at troværdige effektberegninger kan gennemføres, arbejdes der ihærdigt på reduktion af disse fejl. En anden konsekvens af disse regionale

klimaændringseksperimenter synes, i hvert fald for Europa, at være at længere simuleringer end 10 år er nødvendige for at opnå middelændringer som signifikant overstiger de tilsyneladende tilfældige interne variationer i klimasystemet.

## Scenarier for vandstandsændringer og ændringer i det hydrologiske kredsløb.

Jens Hesselbjerg Christensen, Danmarks Meteorologiske Institut.

I IPCC's anden hovedrapport (IPCC, 1995) refereres til resultater fra beregninger af fremskrevne ændringer i den globale vandstand for det 21. århundrede i forhold til 1990. Disse beregninger indbefatter emissioner af både drivhusgasser og aerosoldannende stoffer. Under en forudsætning om en 'bedste vurdering' værdi af klimafølsomheden og isafsmeltninger viser disse beregninger at den globale vandstandsstigning omkring år 2100 vil være omkring 50 cm. I disse fremskrivninger er det samlede bidrag fra Grønland og Antarktis relativt lille i løbet af det næste århundrede. Man kan dog ingenlunde udelukke muligheden for store ændringer i indlandsisens volumen (og dermed vandstanden), selv om sandsynligheden anses for at være lille. En af årsagerne til at der hersker nogen usikkerhed omkring ændringerne i isvolumen er at iskapperne ikke er specielt godt behandlet i dagens fuldt koblede klimamodeller, primært på grund den forholdsvis ringe opløsning, man er nød til at anvende. Et eksempel på en mulighed for en forbedret beskrivelse af forholdene over Grønland er at anvende en højopløsnings regional klimamodel over området. Med en sådan model vil tilførslen af vand samt temperatur ændringer langs iskappen potentielt kunne simuleres langt mere realistisk og et bedre bud på konsekvenserne af et ændret klima kunne gives.

I det hele taget er vandets kredsløb en af de faktorer i klimasystemet, der volder størst besvær at simulere realistisk med tidens fuldt koblede globale klimamodeller. Igen er opløsningen af afgørende betydning. På grund af manglende opløsning håndteres den årlige gang i vandets kredsløb ikke særlig vellykket, specielt ikke i bjergegne. Igen tilbyder en regional højopløsningsmodel en mulighed for at forbedre dette forhold. Ved DMI er der gennem længere tid blevet arbejdet med en regional klimamodel - HIRHAM - der med en opløsning helt ned til 18 km har været anvendt til simulering af fremtidens klima. Det positive resultat af simuleringerne har først og fremmest været at det hydrologiske kredsløb synes væsentligt forbedret navnlig i bjergegnene med den høje opløsning (Christensen *et al.* 1998). Derimod er der stadig svagheder, der især kan tilskrives nedarvede problemer fra den globale klimamodel, man nødvendigvis må anvende til at drive den regionale model med på sine laterale rande (Machenhauer *et al.* 1998).

Eksemplet med højopløsningsmodellering tilbydes som en mulighed for at etablere samarbejde om regionalt klimamodellering inden for det hydrologiske område. Både hvad angår Grønland, men også for Danmark, eller eventuelt andre områder.

### Referencer

Christensen, O.B., J.H. Christensen, B. Machenhauer, and M. Botzet 1998:

Very-high-resolution regional climate simulations over Scandinavia. Present climate.

*J. Clim.*, [In press].

IPCC 1995:

Climate Change 1995 - The Science of Climate Change (Redigeret af J.J. Houghton m.fl.).

Cambridge University Press, Cambridge, 572 s.

Machenhauer, B., M. Windelband, M. Botzet, J.H. Christensen, M. Déqué, R.G. Jones, P.M. Ruti, and G. Visconti 1998:

Validation and Analysis of Regional Present-day Climate and Climate Change Simulations over Europe. *Max Planck Institute Report* [In preparation].

## **Drivhuseffektens virkninger på kyster**

*ved Anne Rebsdorf, Kystinspektoret*

I forbindelse med en forøget drivhuseffekt ventes en gennemsnitlig stigning af Verdenshavene på omkring 50 cm. Dette vil også kunne få en mærkbar betydning for kysterne omkring Danmark i form af større chancer for oversvømmelser og en generel stærkere erosion af kysterne.

### **Oversvømmelser:**

Danmark har ca. 7300 km kyststrækning. Deraf er ca. 500 km digebeskyttet. De mest oversvømmelsestruede områder ligger langs den Jyske Vestkyst og i det Nordøstlige Jylland, men også ved Lolland og omkring en række kystbyer. Vandspejlstigninger vil medføre at sikkerhedsniveauet beregningsmæssigt bliver lavere. Med en ændret vandstandsstatistik vil de nuværende havneanlæg være oftere truet af oversvømmelser. Tilsvarende forventes forøgede problemer for kystbyer med hensyn til deres kloaksystemer.

Vandstanden måles som den relative forskel mellem vandspejlsstigninger og landhævning eller –sænkning. Geografisk ligger Danmark i en zone, hvor der til stadighed foregår landhævninger og landsænkninger, som en følge af jordoverfladens tilpasning efter sidste istid. Således går der en skillelinie fra Nordvest til Sydøst gennem Danmark med landsænkninger Sydvest herfor og landhævninger mod Nordøst. Der er derfor ved projektering af de sønderjyske diger taget højde for en landsænkning på 30 cm svarende til en vandspejlsstigning uden drivhuseffekt i 200 år.

Vi kan se tendens til øget antal ekstremhændelser gennem årene. Selvom vejret ikke har været særlig hårdt de sidste 10 år, så er der mange mindre ekstremhændelser. Mht. fremtiden er det endnu ikke betragtet som tilstrækkelig sikkert estimeret, hvad drivhuseffekten kan give af vandsstandsstigninger til at der endnu er taget hensyn hertil i projekterede kystsikringer.

Problemerne kan løses ved at bygge flere diger og forstærke de eksisterende, men det kræver godt datagrundlag/prognoser, så man kan komme med nogle gode bud på de fremtidige vandspejlsstigninger.

### **Erosion:**

Der må forventes en øget kysttilbagerykning ved en vandspejlsstigning, men kysten må så forventes at ville indgå en ny ligevægtstilstand med nogenlunde den samme årlige tilbagerykning som før. Det vil formentlig resultere i øget kystfordring og større vedligeholdelse af kystanlæg som f.eks. høfder, bølgebrydere, moler mv.

## **Grundvandsressourcer og klimaændringer**

*Richard Thomsen, Århus Amt*

Fremtidig tørke og vandmangel.

Med en simpel analyse er det muligt at vise, at vinternedbøren og tørkeperioder følger et regionalt mønster i området fra Danmark til Bordeaux i Frankrig. Analysen viser også, at vinternedbøren de sidste 50 år har været unormalt høj i forhold til den samlede målte periode tilbage til 1736. Vinternedbøren er meget vigtig for grundvandsdannelsen og dermed vandressourcerne i Danmark. Selv om de nuværende klimamodeller alle viser, at der i fremtiden må forventes en stigning i nedbøren, er der god grund til at være meget opmærksom på nedbørens betydelige naturlige korttids- og langtidsvariationer. For en troværdig vurdering af vandressourcerne har historiske data en meget stor vægt. Hvis modellerne ikke kan gengive fortiden, er der ingen grund til at tro på modellernes beregninger for fremtiden. I Danmark er det amterne, der er ansvarlig for administrationen af vandressourcerne. Amterne har store forventninger til, at etablering af klimacentret betyder, at der i fremtiden bliver en langt bedre adgang til kvalitetssikrede data fra DMI, som rækker langt tilbage i den tid, man har målt klimaet i Danmark. De kvalitetssikrede data kan for eksempel opdeles i klasser efter deres kvalitet.

Referencer:

IWSA World Congress, Madrid, 1997, Impact of climatic variations on water resources with special reference to droughts and floods, 4 International Report. (Inklusive 16 nationale rapporter ).

Thomsen R. (1987), Vandressourcerne og klimasvingninger. Miljøprojekt nr. 89, Miljøstyrelsen.

Thomsen R. (1989), The effect of climate variability and change on groundwater in Europe. Keynote paper, Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland, pp. 486-500.

Thomsen R. (1993), Future Droughts, Water Shortages in parts of Western Europe. EOS, Transactions, American Geophysical Union, Vol 74, pp 161-165.

Thomsen R. (1996), Fremtidig tørke og vandmangel. Vand og Jord nr. 5. oktober.

Vejledning fra Miljøstyrelsen (1995), Udpegning af områder med særlige drikkevandsinteresser nr. 4.

## Klimaændringer og vandressourcer i Danmark

*Thorkild Thomsen, Hedeselskabet*

Vejret influerer i stor udstrækning vandets kredsløb, udviklingen i vandressourcerne og, indirekte, stoftransport og vandkvalitet i vandløb, søer og indre farvande. Dette gælder også Danmark, hvor der i de seneste 10 år har været gennemført en række undersøgelser af klimaændringer og disses indflydelse på det hydrologiske kredsløb. I klimarapporter fra Miljøministeriet har man behandlet en lang række aspekter i forbindelse med IPCC's fremskrivninger af ændringer i klimaet. Scenarierne fra IPPC blev søgt formuleret i et antal mulige klimatiske udviklingsmønstre i Danmark, og konsekvenserne heraf blev kortlagt for forskellige sektorer såsom landbrug, trafik, kystbeskyttelse m.m.

Inden for hydrologi og vandressourcer har undersøgelserne, som bl.a. er baggrunden for den nævnte bogs hydrologiske afsnit, været af meget sporadisk og generel karakter. De beregninger der belv foretaget i forbindelse med bogens udarbejdesle bygger på nogle enkle forudsætninger, og omhandler kun en vandløbsoplandstype. Endvidere findes der ingen undersøgelser af følsomheden af det hydrologiske respons på ændringer i klimaet eller af udviklingen i vandressourcer og vandløbsafstrømning i Danmark. Det sidste har betydning for vurderingen af udviklingen af stoftransport og vandkvalitet, da nedbør og afstrømning er potentielle transportører af næringsstoffer og andre forurenende emner.

Et aspekt som besværliggør vurderinger af klimaændringer og deres indflydelse på vandressourcerne er de menneskelige indgreb på samme, som er og har været dagligdag igennem den periode, hvor man har målt klima og afstrømning. Det drejer sig primært om byudvikling, ændring af arealanvendelser samt dræning og afvanding. Desuden kan disse fysiske indgreb i landskabet igen virke tilbage på klimaet. Derfor kan det være meget vanskeligt at adskille effekten fra de forskellige indgreb, og derfor også at vurdere klimaeffekter på baggrund af observerede data. på den anden side må alle undersøgelser tage udgangspunkt i de data som vi har til rådighed, og som beskriver alle udviklinger og ændringer i en integreret form. En vigtig opgave er derfor at kunne adskille den direkte indflydelse fra menneskeskabte forhold.

Faktisk har vi mulighed for at vurdere visse variationer indenfor den relativt korte årrække hvor der findes afstrømningsdata. Jäger (1988) har undersøgt de stedlige mønstre i temperaturen på den nordlige halvkugle fra 1860 og frem til 1980'erne. Resultatet af denne undersøgelse er, at perioden fra 1917-1939 var en varm periode, varmest bl.a. i Nordeuropa. Herefter indtraf en køligere periode fra 1940-1964, hvorefter der igen var en varm periode fra 1965-1980. I starten af 80'erne (1981-1987) var vejret igen køligt, som igen er vendt til det varme gennem de sidste år. Gennem at sammenholde klima og afstrømning/magasiner i disse perioder er der en mulighed for at vise noget om sammenhængen/responsen mellem klima og afstrømning og grundvandsdannelse.

### **Formålet med nærværende projekt-idé kan sammenfattes som følger:**

1. At finde metoder til at adskille effekter fra den direkte menneskelige indflydelse fra naturlige fluktuationer på vandbalancer, vandressourcer og vandkvalitet.
2. At beskrive de antropogene påvirkninger.
3. At bestemme følsomheden for en klimaændring på forskellige vandløbs-/oplandstyper.
4. At beregne et konsekvens scenarie for en hydrologisk-/klimaændring.



## Climate Change and Biological Response

*Richard Bradshaw, Danmarks- og Grønlands Geologiske Undersøgelser*

The biosphere has traditionally been viewed as a passive recipient of climatic input. Recent research has emphasised however the significant role of feedbacks from the biosphere to the climate system. These feedbacks operate via albedo, the carbon and hydrological cycles, fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, aerosols originating from non-vegetated regions and other processes. Palaeoecological data that describe aspects of the biosphere for various times in the past are being organised into databases that can now be exploited in studies of former climate-biosphere interactions. The palaeodata indicate times in the past when global and regional climates differed considerably from present, and they suggest scenarios to be modelled with coupled climate-biome models. Biome models simulate vegetation types associated with given climatic conditions, and these simulations can be matched against the palaeoecological data.

Biological response to climate change is highly dependent on the time-scale under study (Table 1).

Table 1. Time-scales of key biological processes (I.C. Prentice *pers. comm.*)

<i>Time-scale</i>	<i>Biological process</i>
Seconds-hours	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O exchange
	Stomatal response
1 day - 1 year	Net primary production
	C, N allocation
	Phenology
1-10 <sup>2</sup> years	Vegetational change
	Disturbance regimes
	Establishment
>10 <sup>3</sup> years	Plant migration
	Extinction
	Biome shifts

The climate changes associated with the Quaternary glaciation resulted in large biome shifts and global and continental extinctions of species. Climate change during the Holocene has driven tree migration and long-term successions. Climate often exerts its control at the regeneration phase for plants, but can have an equally significant effect by determining the prevailing disturbance regime. Fire and storms are two major driving forces for forest succession in Scandinavia. Climatic influences at the scale of days or hours are more the concern of plant physiologists than geologists.

GCM output has been used to drive global biome models to simulate biome distribution for the last glacial maximum and for certain future climate scenarios. Model results are beginning to agree with palaeodata but mismatches are proving valuable in pointing out inaccuracies in the climate models. These global models are of limited practical value in national planning. Regional GCMs and forest simulation models with high spatial resolution are promising tools for exploring certain practical consequences of greenhouse gas accumulation. Data-model comparisons of the effects of the Little Ice Age on Draved Forest, Denmark showed that climate forcing of vegetation interacted with anthropogenic influence to result in major changes in forest composition and biomass.

Palaeoecological data are valuable in testing the power of climate models to simulate past climates. Successful modelling of past conditions improves confidence in simulations of possible future scenarios. However the complex interaction between climatic and anthropogenic influences on the biosphere complicates predictions of the future.

## **Hydrologi og vegetationsændringer i klimamodeller**

*Ole Bøssing Christensen, Danmarks Meteorologiske Institut*

Globale klimamodeller har en grov opløsning. Derfor bruges regionale modeller til at undersøge disse konsekvenser i detaljer. Af vigtige fænomener, hvor GCM'ers opløsning kan være utilstrækkelig, kan nævnes nedbør, især betinget af højdeforskelle, kraftig vejrudvikling (storme), eller årstidsvariationen af snedække og afstrømning.

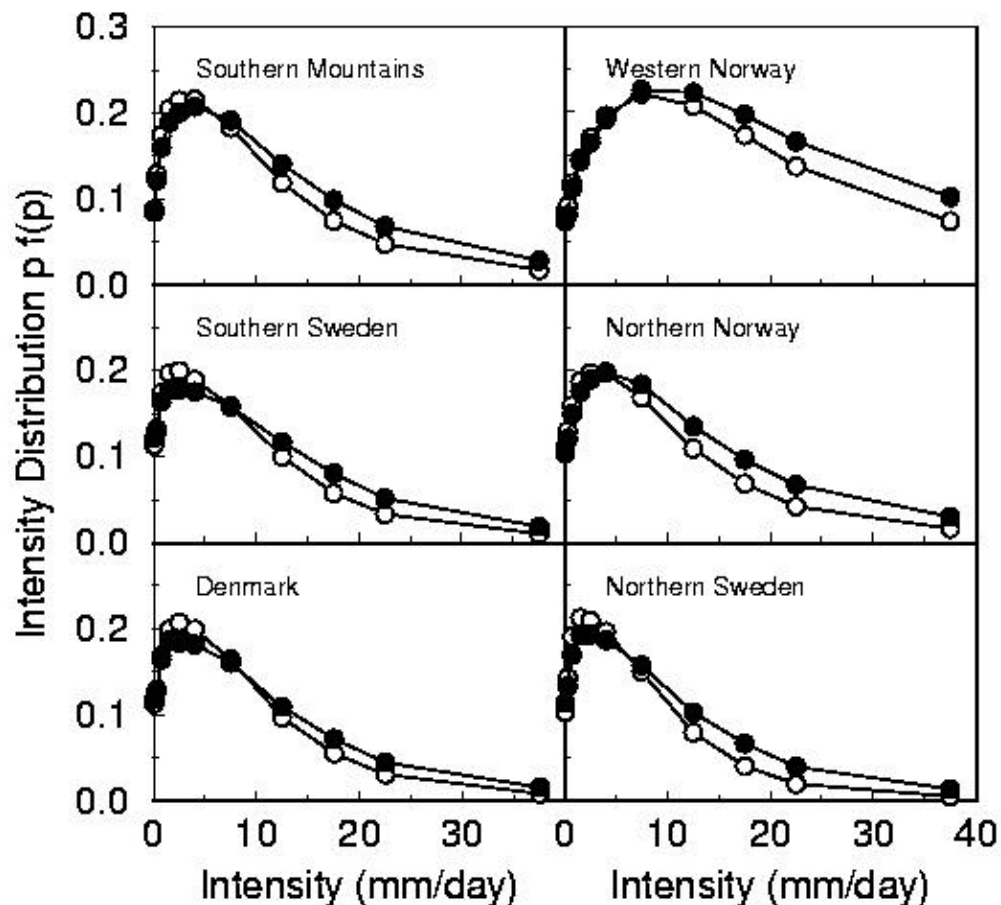
To undersøgelser med DMI's regionale klimamodel HIRHAM vil blive gennemgået. Dels en undersøgelse af konsekvenser af den menneskeskabte drivhuseffekt for vandbalancen i Skandinavien, dels et projekt omhandlende klimaændringer i Middelhavsområdet som følge af skovfældningen siden romertiden.

Den regionale klimamodel HIRHAM4 er blevet kørt med grænsebetingelser fra en GCM med og uden forøget CO<sub>2</sub>-indhold i atmosfæren i et område over Skandinavien.

Kontrol eksperimentet er sammenlignet med observationer. Deraf ses, at den regionale model arver fejl fra GCM'en, især en for lille årstidsvariation af temperaturen. Fejl i den forcerende model kan endda forværres under denne nedskalering. Den regionale model har dog en betydeligt mere realistisk afstrømning og sneafsmeltning end GCM'en; læffekten af de skandinaviske bjerge er bedre beskrevet.

Den menneskeskabte drivhuseffekt resulterer i et varmere og vådere klima.

Den ekstra regn kommer især som kraftige regnskyl (se figuren på næste side). Opvarmningen og nedbørsforøgelsen er ret homogen over området.



I projektet med vegetationsændringer over Middelhavet drives HIRHAM4 med "perfekte" rande i ét år, 1982. Vi undersøger forskellen mellem at regne med den faktiske vegetation, et vegetationsfrit Middelhavsområde og et skovfyldt område som i romertiden. En sammenligning med observationer viser en god gengivelse af temperaturer, men en dårligere gengivelse af nedbør, især i bjergegne.

Initialiseringen af jordbundens temperatur og fugtighed har mærkbare effekter på klimaet. Resultaterne viser, at en regional klimamodel ikke kan forklare det fugtigere klima i romertiden. Dette kan skyldes, at årsagen er en ændring i den generelle cirkulation, hvilket ikke kan beskrives i en regional klimamodel.

Regionale klimamodeller er et nødvendigt redskab til at fortolke resultater fra globale eksperimenter, men der er stadig behov for store forbedringer af disse modeller.

De er endvidere yderst velegnede til at levere scenariedata til hydrologiske og biologiske modeller pga. den høje rumlige og tidlige opløsning. Der er mulighed for arbejde på forbedring af klimamodellen ved at sammenligne med disse modellers mere avancerede beskrivelser af relevante processer, såsom fordampning og varmedissipation fra vegetation.

## Climate Effects on Fisheries and Marine Ecosystems

Brian MacKenzie and Andy Visser, Danmarks Fiskeriundersøgelser

A key problem in fisheries management worldwide is the large interannual variability in recruitment, i.e., the production of new yearclasses of fish which survive long enough to become vulnerable to fishing gear. This variability forces fisheries managers to make uncertain (i.e. risky) decisions regarding catch quotas and fishing mortalities. Interannual variation in recruitment is believed to be strongly influenced by climate variability which induces changes in the environment experienced by young fish stages. Three major influences of climate variability on fish and the marine environment include:

- i) *Variations in regional circulation and the transport of water and materials.* These variations are often caused by differences in weather conditions (e.g., winds, precipitation, evaporation, land drainage) and can result in the exchange of plankton (including fish eggs and larvae) from area to area and the exposure of plankton to conditions which could be detrimental to their growth and survival. DFU has recently been involved in two EU projects which have investigated how transport affects the spatial distributions of copepods and haddock larvae near the Færo Islands and Scotland. Variations in ocean circulation can also transport water masses having different properties (e.g., salinity) in distinctly episodic events. This process is important for the reproduction of cod in the Baltic Sea where irregular inflows of oxygenated North Sea water replace anoxic water masses in the deep basins. Oxygen concentrations in the basins and their dependence on temperature, ice coverage and wind conditions have been investigated by DFU within a third EU project.
- ii) *Temperature fluctuations in the habitat of living organisms.* These variations can directly affect growth and survival rates. For example, in the Baltic, sprat recruitment seems to be lower in years when spring water temperatures are below average, possibly due to the detrimental effects of cold water on egg development. Unusual temperatures can also advance or delay the onset of biological processes (e.g., cod spawning activity, plankton blooms). Changes in temperatures can also induce geographical shifts in species distributions.
- iii) *Changes in vertical mixing processes.* Plankton production, aggregations and entire pelagic food webs are particularly sensitive to vertical mixing. Winds, temperature and precipitation are climatic variables which influence marine ecosystem structure and functioning, and the amount and type of fish produced in particular regions. DFU has shown that frontal regions and thermoclines are important aggregation and production sites for both young fish and plankton. Factors such as wind conditions which affect the integrity and production of such sites may be important for fish recruitment and are being investigated in new EU projects.

A long-term objective of investigations of climate effects on fisheries and the marine environment is to reduce the uncertainty with which fish stocks and marine ecosystems can be managed. Achieving this goal will require a multi-disciplinary approach and could result in fewer fishery-induced stock collapses.

## Sæsonprognoser

*Henrik Feddersen, Danmarks Meteorologiske Institut*

DMI har for nylig udsendt prognoser for middeltemperaturen i Danmark for foråret og sommeren 1998. Det er første gang DMI udsender officielle sæsonprognoser. Man kan måske undre sig over at DMI tør give sig i kast med prognoser som dækker perioder flere måneder frem i tiden, når man normalt regner med at en bare moderat pålidelig vejrudsigt højst har en gyldighedsperiode på 1-2 uger. En sæsonprognose adskiller sig imidlertid fra en vejrudsigt ved at være hvad man kan kalde en klimaforudsigelse, dvs. en forudsigelse af en statistisk størrelse som f.eks. middeltemperaturen i løbet af en sæson (en sæson betegner her en 3-månedersperiode). Endvidere vil man normalt angive en sæsonprognose som en kategorisk prognose, dvs. at den størrelse man ønsker at forudsige på forhånd deles ind i et antal kategorier, som typisk vil være af typen "under normal", "nær normal" og "over normal" (tre kategorier) eller blot "under (langtids) gennemsnittet" og "over gennemsnittet" (to kategorier).

Beregningsmodellerne for kortfristede vejrudsigter og for sæsonprognoser er baseret på løsning af de samme matematiske ligninger, men hvor vejrudviklingen få dage frem i tiden i det væsentlige er bestemt af atmosfærens øjeblikkelige tilstand, er klimavariationer ca. et halvt år frem i tiden i højere grad påvirket af relativt langsomt varierende størrelser såsom havtemperaturer, mængden af hav-is og snedække samt jordfugtighed. Disse eksterne faktorer påvirker hyppigheden hvormed bestemte vejr-situationer optræder, hvilket har en indflydelse på fx sæsonmiddeltemperaturer og sæsonnedbørsmængder.

For visse områder på kloden, især i troperne, er der en meget tæt sammenhæng mellem sæsonklima og eksempelvis havtemperaturer (specielt i forbindelse med El Niño fænomenet), men for Nordvesteuropa vil flere vejr- og klimaudviklinger sædvanligvis være mulige, hvorfor en prognose bør give information om de mulige udviklinger samt om hvor sandsynlige de enkelte udviklinger er. Det er væsentligt at bemærke at denne usikkerhed er en fysisk egenskab ved klimasystemet (en usikkerhed eller begrænset forudsigelighed som hænger sammen med atmosfærens - i matematisk forstand - kaotiske dynamik). Usikkerheden skyldes ikke (kun) mangler ved de anvendte klimamodeller.

I praksis estimerer man sandsynlighederne ved at beregne et ensemble af klimasimuleringer for den ønskede sæson, hvorefter man undersøger hvordan eksempelvis sæsonmiddeltemperaturen fordeler sig indenfor ensemblet. Ensemblet består typisk af 30 simuleringer som beregnes med begyndelsesbetingelser svarende til observationer for hver dag i en måned. De 30 forskellige begyndelsesbetingelser giver anledning til en vis spredning indenfor ensemblet. Hvis spredningen er lille, får man typisk en høj sandsynlighed for en af de mulige kategorier.

Modellen som anvendes til beregning af ensemble-sæsonprognoserne er en global, koblet ocean-atmosfære dynamisk model. Pålideligheden af prognoserne fra denne model er endnu ikke grundigt undersøgt vha. hindcasts, men med en global målestok har de første real-time prognoser været forbavsende nøjagtige. En væsentlig årsag til prognosernes store nøjagtighed er den meget kraftige El Niño episode som har udviklet sig i det tropiske Stillehav og som har påvirket det globale klima mærkbart. Det er dog værd at bemærke at netop denne model har håndteret udviklingen af El Niño episoden og de tilhørende konsekvenser for klimaet bedre end de fleste andre modeller. Prognoserne for Europa hvor man normalt ikke regner med særlig stor pålidelighed, har også været ganske nøjagtige. Således forudsagdes med stor sandsynlighed både den varme sommer 1997 og den milde vinter 1997/98.

DMI offentliggør nu sandsynligheds-sæsonprognoser for 2m temperaturen i Danmark. Prognoseerne er baseret på ensembleprognoseerne fra den globale model samt en vurdering af modellens pålidelighed for Danmark i den givne sæson. Med i denne vurdering er bl.a. rent statistiske sammenhænge f.eks. mellem middeltemperaturen i to på hinanden følgende sæsoner.

DMI's sæsonprognoser for Danmark er tilgængelige på DMI's Websider på adressen "[www.dmi.dk/pub/projects/SEASONAL/](http://www.dmi.dk/pub/projects/SEASONAL/)".

## **Elsektoren og vejret**

*Søren Varming, ELSAM-projektet*

Vejret har betydning for elsektoren på mange måder og på både lang og kort sigt

### **Kortsigtet (dage)**

Vindkraft udgør i dag 5-6% af den samlede danske elforsyning og i de kommende år vil denne procent stige til 10% og måske mere. Dermed er en væsentlig del af produktionsapparatet direkte afhængig af vejret. Det betyder selvfølgelig også en væsentlig interesse i at kunne forudsige vinden. Eksempel forskel i elproduktion ved fuld produktion på anlæggene og nul produktion.

### **Mellemlang sigt (måneder)**

El handles i stadigt stigende grad på den nordiske elbørs. Her er dels en handel time for time, hvor vejrets indflydelse er som ovenfor. Men der er også en handel med el måneder ud i fremtiden. Da bliver en vurdering af balancen mellem udbud og efterspørgsel af afgørende betydning. Her er nedbøren over Skandinavien af stor betydning p.gr.a den store vandkraftandel i Norge og Sverige. Eksempel fra Nordel om handelsmønstre i Norden i 2005 afhængigt af nedbøren.

### **Lang sigt (årtier)**

Hvor det på de korte sigt er vejret, der har betydning for elsektoren er det på det lange sigt elsektoren, der påvirker vejret. Ca halvdelen af den danske CO<sub>2</sub>-emission kommer fra elsektoren. Derfor er en nøgtern vurdering af drivhuseffekten af afgørende betydning for elsektorens fremtid. Elsektoren er i gang med mange aktiviteter for at nedsætte CO<sub>2</sub>-emissionen. Omkostningerne er i størrelsesordene op til 600 kr/ton CO<sub>2</sub>. Derfor er klimaforskernes resultater af stor konkret betydning for os. Det er en af grundene til at ELSAM har været engageret i et tre-årigt projekt sammen med DMI.



## Flere storme i Nordatlanten?

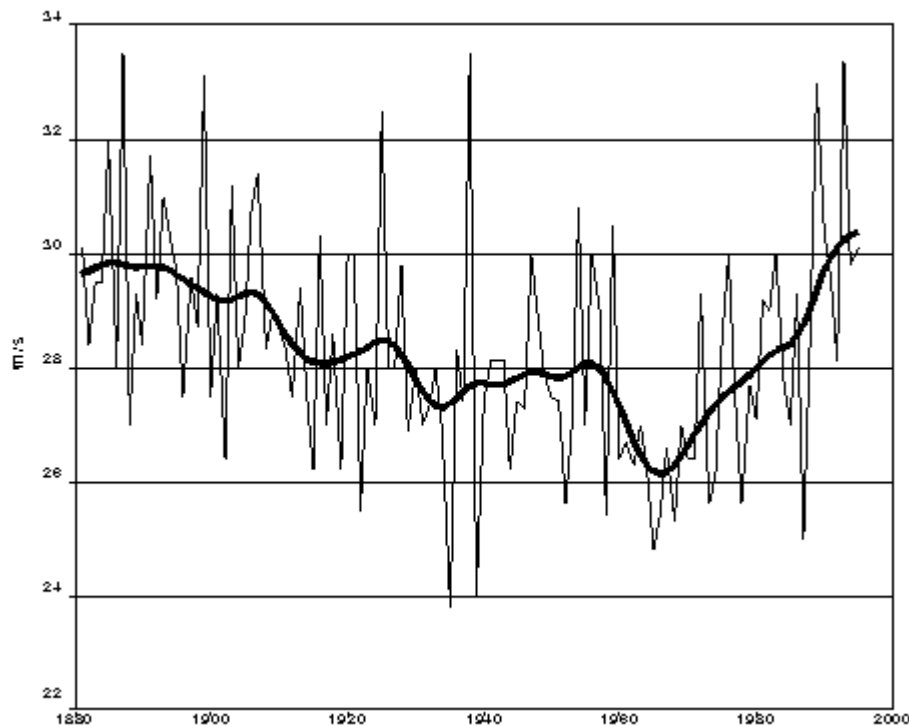
*Torben Schmith, Danmarks Meteorologiske Institut*

I begyndelsen af 1990'erne forekom en del voldsomme storme i Nordatlanten og Nordsø-området. Især offshore- og forsikringsbrancherne var nervøse for en systematisk ændring i stormklimaet. En gruppe europæiske forskere gik sammen i projektet WASA for at belyse forholdene videnskabeligt. Det er nogle hovedresultater fra dette projekt, der vil blive omtalt i foredraget.

Regelmæssige, meteorologiske observationer begyndte i sidste halvdel af forrige århundrede. En undersøgelse af vindklimaet over en ca. 100-årig kan imidlertid ikke basere sig på vindobservationer p.g.a. ændringer i observationspraksis, overgang til måling med instrumenter m.v. Man taler om at vindobservationer er inhomogene. I stedet valgte man at basere sig på lufttrykket der ikke har de samme problemer med inhomogenitet. Derfor blev daglige værdier af lufttrykket for 22 stationer fordelt i det nordatlantiske område digitaliseret tilbage til ca. 1875. Danmark bidrog med data fra Danmark, Færøerne, Grønland og Island og spillede derfor en naturlig hovedrolle i denne del af undersøgelsen.

Ud fra de digitaliserede trykdata fra tre stationer kunne såkaldte geostrofiske vinde beregnes. Fra en sådan beregnet tidsserie af geostrofisk vind blev igen beregnet årlige (vinter) værdier af 50%-, 90%- og 99%-fraktilen. Et eksempel er vist på figuren. Man ser at der er sket en stigning i 99%-fraktilen, der kan tages som et udtryk for stormaktiviteten i det pågældende område, fra ca. 1970 og fremefter. Imidlertid fremgår det også at 60'erne var særdeles rolige og at niveauet ved århundredes begyndelse var lige så højt som idag. En vigtig pointe er derfor at det er vigtigt at have det lange perspektiv med når signifikansen af observerede tendenser skal vurderes.

Endelig er der det vigtige spørgsmål om effekten af udledning af drivhusgasser. Dette er blevet undersøgt ved såkaldte 'timeslice' eksperimenter med en atmosfærisk cirkulationsmodel. To eksperimenter er blevet udført, svarende til nuværende klima (control) og til forøget indhold af drivhusgasser ( $2x CO_2$ ). Hvert eksperiment er af 5 års varighed. Resultatet af en forøgelse af koncentrationen af drivhusgasser er en formindsket stormaktivitet i Nordatlanten og en forøgelse i Nordsøen. Imidlertid er dette signal ikke større end forskellen imellem to observerede 5-års perioder. Det fortolkes på den måde at 5 år er for kort tid til at skelne 'drivhus-signalet' fra naturlig variabilitet. Det opnåede signal er altså ikke signifikant.



Figuren viser geostrofisk vind beregnet på basis af trykobservationer fra de tre stationer Torshavn, Bergen og Aberdeen for de tre vintermåneder (Dec.-Feb.). Figuren viser 99% fraktilen for den geostrofiske vind (dvs. den værdi, som den geostrofiske vind ligger under 99% af tiden). Den bløde kurve er filtreret for korttidsvariationer.

### Referencer:

Alexanderson H., Schmith T., Iden K., Tuomenvirta h., (1997) Long-term variations of the storm climate over NW Europe. *The Global Atmosphere and Ocean System*, in press.

Beersma, J. J., Rider, K. M., Komen, G. J. Kaas, E., Kharin, V. V. (1997) An analysis of extratropical storms in the North Atlantic region as simulated in a control and 2x CO<sub>2</sub> time-slice experiment with a high-resolution atmospheric model. *Tellus*, 49A, 347-361.

Berz, G., Conrad, K. (1994) Stormy weather: The mounting windstorm risk and consequences for insurance industry. *Ecodesicion* 12, 65-69.

Schmith, T., Kaas, E. & Li, T. S., (1998) Northeast Atlantic winter storminess 1875-1995 re-analysed, *Clim. Dyn.*, in press.

# Arbejdsgruppe 1: Klimasystemet (processer, modeludvikling, scenarier)

*Referent: Eigil Kaas*

**Deltagere:** Peter Laut, Danmarks Tekniske Universitet; Ray Bates, Københavns Universitet; Michael Rask, Miljøstyrelsen; Gary Shaffer, Københavns Universitet; Niels Otto Jensen, Forskningscenter RISØ; Antoon Kuijpers, Danmarks- og Grønlands Geologiske Undersøgelser; Bennert Machenhauer, Max-Planck Institut für Meteorologie; Naja Mikkelsen, Miljø- og Energiministeriet; Jesper Gundermann, Energistyrelsen; Leif Toudal, Danmarks Tekniske Universitet; Bent Sørensen, Roskilde Universitets Center. Eigil Kaas, Danmarks Meteorologiske Institut, Henrik Svensmark, Danmarks Meteorologiske Institut.

Denne session var præget af mange indlæg, hvorunder der i flere tilfælde var en livlig debat. Et kort sammendrag af de enkelte foredrag giver et indtryk af dagens forløb.

## *Sammendrag af foredrag:*

Ray Bates, Danish Center for Earth System Science holdt et indlæg om aktiviteter ved DCESS. Der blev først givet en oversigt over aktiviteterne inden for DCESS. Der er mere end 20 personer involveret i centeret ved Københavns Universitet samt ca. 8 personer ved Odense Universitet. DCESS er mere grundforskningspræget end Danmarks Klimacenter, men der skulle være gode muligheder for samarbejde inden for områderne "parameterisering af fysiske processer" og "koblede ocean-atmosfæremodeller".

Derefter gennemgik Ray Bates en ny teori, der søger at forklare hvorfor klimaet på Jorden er så stabilt, som det er. Teorien er baseret på en empirisk relation: der er en sammenhæng mellem meridional transport af impulsmoment i atmosfæren og den gennemsnitlige temperatur på Jorden som helhed. Dette fører til ændrede fordampningsforhold (fordampning er afhængig af vind), og dermed til en aftagende drivhuseffekt fra vanddamp, i de perioder hvor Jordens gennemsnitstemperatur er højere end normalt.

Eigil Kaas, Danmarks Klimacenter fortalte om klimamodelprojekter ved Danmarks Klimacenter. DMI er involveret i en lang række internationale samarbejdsprojekter omkring klimamodellering og undersøgelser af både menneskets påvirkning af klimaet og naturlige klimavariationer på forholdsvis kort tidsskala. Arbejdet omfatter både forbedring af modellerne (beregning af forceringsfejl, bedre beskrivelse af fysisk parameterisering og dynamiske processer) og anvendelse af klimamodellerne i forskellige geofysiske problemstillinger.

Henrik Svensmark, Danmarks Klimacenter fortalte om klimavariationer og Solens indflydelse. De empirisk fundne sammenhænge mellem hhv. længden af solpletyklen og Jordens temperatur, samt mængden af kosmisk stråling, Jordens totale skydække og Jordens temperatur blev gennemgået. I et forsøg på at finde en mekanisme, der kan forklare disse sammenhænge, har CERN ved Genève planer om at teste skydråbedannelse i tågekammereksperimenter, hvor en realistisk (men naturligvis syntetisk) atmosfære påvirkes med forskellige typer og mængder af høj-energetisk stråling.

Der var en meget livlig diskussion vedrørende betydningen af kosmiske strålers indflydelse på klimaet. Blandt andre Peter Laut og Jesper Gundermann stillede kritiske spørgsmål vedrørende de anvendte neutronkammermålinger og den tidlige filtrering af dataene.

Bennert Machenhauer, Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI) holdt et indlæg om modelaktiviteter ved MPI. De forskellige scenariosimuleringer for ændringer i drivhusgasser, troposfærisk ozon, direkte aerosol-effekter og indirekte kortbølgede strålingseffekter fra aerosoler blev gennemgået. Der er stadig meget arbejde forude med at forbedre modellerne og forstå de parameteriserede processer bedre. Også resultater fra regionale klimamodeller blev præsenteret. Præsentationen omfattede både fejl i modellerne og klimaændringsscenerier.

Der var spørgsmål vedrørende aerosol-scenerierne og den anvendte forcering og vedrørende sammenhæng mellem temperatur og lavtryksaktivitet.

### ***Indlæg fra deltagerne:***

Bent Sørensen, Roskilde Universitets Center, fortalte at på RUC arbejdes med socioøkonomisk effekter af diverse "global change" elementer. RUC vil gerne samarbejde om brug af klimaændringsdata. Et interessant forskningsområde kunne være: "Er der mulighed for at scenarier for f.eks. energianvendelse kunne tilbagekoble på klimaberegninger (ændringer i albedo, ruhed etc.)?"

Antoon Kuijpers, Danmark- og Grønlands Geologiske Undersøgelser fortalte at der på GEUS bl.a. er blevet arbejdet med orkanaktivitet beskrevet ved bl.a. sediment på vest- og østsiden af Puerto Rico. Der har i disse proxydata været tegn på lav orkanaktivitet omkring den "lille istid", men høj nu. Aktiviteten var også lav i tresserne. Der blev desuden vist eksempler på andre sedimentdata som viser varierende termohalin cirkulation.

Naja Mikkelsen, Danmarks - og Grønlands Geologiske Undersøgelser, holdt et indlæg vedrørende "Ocean Drilling Programme". Disse stadig mere globalt dækkende sediment-data har allerede vist sig meget anvendelige til studier af naturlige klimavariationer, ændringer i havniveau m.m.

Leif Toudal, DCRS/Danmarks Tekniske Universitet, gennemgik ESOP-2 projektet, der har til formål at forstå de processer, som er ansvarlige for havis og termohalin cirkulation i Grønlandshavet. Et af resultaterne er data med daglige isbevægelser i de sidste 7 år, der kan danne udgangspunkt for processtudier og samarbejde med klimacenteret. Der er desuden mulighed for samarbejde om akkumulering/ablation for iskapper i Nordgrønland.

Peter Laut, Danmarks Tekniske Universitet, gennemgik arbejdet med at informere det danske samfund om klimaspørgsmål. Gennemgik også de forskellige beregninger han og Jesper Gundermann har gennemført i forbindelse med debatten om solens indflydelse på klimaet. Deltager gerne i Danmarks Klimacenters arrangementer.

### ***Diskussion vedrørende samarbejde:***

(diskussionen var ret kortvarig på grund af et fremskredent tidspunkt)

Der blev opfordret til samarbejde om forståelse af fortidens klimavariationer. Dvs. man bør overveje at ansøge om midler til et tværfagligt projekt.

Det blev helt konkret foreslået at afholde et seminar om "Overraskelser i forbindelse med globale klimaforandringer". Dette kan f.eks. holdes i vinteren 98-99 og inkludere emner som dybvandsdannelse og andre mulige "højere ordens" tilbagekoblinger.

Man foreslog også en workshop i forbindelse med betydning af Solens påvirkning af klimaet.

Der var nogen diskussion om leverancer af data fra DKC til andre interessenter.

Det blev af Jesper Gundermann og Peter Laut foreslået at samarbejde om en fælles WEB-side, der informerer offentligheden om spørgsmål i forbindelse klimaændringer.

## **Arbejdsgruppe 2: Fysiske systemer (kyster, grundvands-ressourcer, vandløb)**

*Referent: Jens Hesselbjerg Christensen*

**Deltagere:** Richard Thomsen, Århus Amtskommune; Anne Rebsdorf, Kystinspektoratet; Jens Christian Refsgaard, Dansk Hydraulisk Institut; Thorkild Thomsen, Hedeselskabet; Dan Rosbjerg, ISVA/Danmarks Tekniske Universitet; Bjarne Madsen, Danmark- og Grønlands Geologiske Undersøgelser; Hans Jørgen Henriksen, Danmark- og Grønlands Geologiske Undersøgelser; Claus Kern-Hansen, Danmarks Meteorologiske Institut; Jens Hesselbjerg Christensen, Danmarks Meteorologiske Institut; Uffe Andersen, Danmarks Meteorologiske Institut.

Deltagerne i denne arbejdsgruppe var næsten alle medlemmer af den danske vandressourcekomité. Derved er der i høj grad allerede etableret kontakter på mange niveauer mellem DMI og de institutioner, som deltagerne repræsenterede. Eftermiddagen forløb i en positiv atmosfære med en åben debat både under og efter de faglige indlæg.

Jens Hesselbjerg Christensen, DMI indledte med et foredrag om scenarier for vandsstandsstigninger og ændringer i det hydrologiske kredsløb. Dette foredrag gav anledning til nogen debat om behovet for anvendelse af nedbørdata fra DMI's observationsnet. Claus Kern-Hansen redegjorde for DMI's officielle politik på dette område, og interessen blev herefter rettet mod mulighederne for at anvende resultater fra klimasimuleringer. Dette blev yderligere understreget af de efterfølgende foredrag.

Anne Rebsdorf, Kystinspektoratet beskrev efterfølgende i sit foredrag om drivhuseffektens virkninger på kyster, det arbejde der udføres ved Kystinspektoratet omkring mulighederne for at projektere kystsikring på længere sigt. Her gøres der endnu ikke forsøg på at tage hensyn til mulige vandstandsændringer som følge af en øget drivhuseffekt. Derfor er der interesse for at være tæt på informationen om den nyeste viden på dette felt.

Richard Thomsen, Århus Amtskommune beskrev i sit indlæg om grundvandsressourcer og klimaændringer, hvordan man på brugerniveau - her amterne - har behov for redskaber til at kunne vurdere ændringer i grundvandsressourcerne, både på en tidsskala, der rækker nogle få år frem i tiden, og mulige indikationer for udviklingen på en endnu længere tidsskala.

Jens Christian Refsgaard, DHI redegjorde herefter for den hydrologiske modellering, der foregår ved DHI med sigte på mulige samarbejdsmuligheder med DKC ved at fokusere på samspillet mellem atmosfæren og landoverflader. Principielt er dette samspil af afgørende betydning på mange tidsskalaer, fra nogle få timer i forbindelse med beskrivelsen af afstrømning/oversvømmelser i byområder over uger/måneder i vandkvalitetsbetragtninger til dekader, når det gælder grundvandsressourcer. I atmosfæremodeller er det anerkendt at et af de områder, der kræver en bedre beskrivelse, er processerne i landoverflader, især behandlingen af jordfugtighed. Med en distribueret hydrologisk model er det muligt bl.a. ved bedre udnyttelse af telemålingsdata at opnå en langt mere realistisk behandling af disse processer end man normalt anvender i klimamodeller. Der er således basis for at foreslå en fuld kobling mellem på den ene side en atmosfæremodel og på den anden en hydrologisk model. Med en højopløsningsmodel som HIRHAM er der nu samtidig en praktisk mulighed for at foretage denne kobling, da nogle af de traditionelle skalaproblemer delvist er eliminerede. Disse betragtninger blev yderligere understøttede af Hans Jørgen Henriksen og Bjarne Madsen, GEUS, der netop har arbejdet på at etablere hydrologisk modellering på en relativt grov skala - omkring 40 km horisontal opløsning. En mulighed for samarbejde om at benytte griddede

data fra DMI, både fra observationer, såvel som kontrolklima og scenariokørsler, synes oplagt. Jens Hesselbjerg Christensen påtog sig at forsøge at samle idéerne med henblik på et projektforslag, der i givet fald kunne sendes til forskningsrådene.

Herefter gav Thorkild Thomsen, Hedeselskabet et kort indlæg om et projektoplæg, hvor ideen er at adskille den direkte indflydelse fra menneskeskabte forhold - så som ændringer i arealanvendelse og dræning samt afvanding - fra variationer, som skyldes udefra kommende påvirkninger. Projektet lægger op til et samarbejde på den hydrologiske side om dels anvendelsen af eksisterende data for nedbør og vandafstrømning, samt at forsøge at anvende klimascenarier baseret på højopløsningsmodeller.

Efterfølgende blev behovet for en bedre udnyttelse af eksisterende data, samt muligheden for at anvende andre produkter end de gængse 'simple' scenarier baseret på IPCC's rekommandationer, dvs. en antagelse om fremtidige temperaturstigninger og en middelændring i nedbørmængden, diskuteret. Det blev understreget, at DKC vil sigte på at kunne levere scenarier for eksempelvis nedbør, der går videre end dette. Eksempelvis lange tidsserier, der vil indeholde yderligere information i forhold til middelværdien.

## Arbejdsgruppe 3: Biologiske systemer (skove, landbrug, havmiljø og fiskeri, ferskvandsøkosystemer m.m.)

*Referent: Ole Bøssing Christensen*

**Deltagere:** Henrik Saxe, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole; Inge Sandholt, Københavns Universitet; Per Gundersen, Forskningscenter for Skov og Landskab; Flemming Møhlenberg, Vandkvalitets Institut; Richard Bradshaw, Danmark- og Grønlands Geologiske Undersøgelser; Andre W. Visser, Danmarks Fiskeriundersøgelser; Jes Fenger, Danmarks Miljøundersøgelser; Brian MacKenzie, Danmarks Fiskeriundersøgelser; Kim Gustavson, Vandkvalitetsinstituttet; Morten Meldgaard, Dansk Polarcenter, Anne Mette K. Jørgensen, Danmarks Meteorologiske Institut; Ole Bøssing Christensen, Danmarks Meteorologiske Institut.

Mødet startede med indlæg fra Richard Bradshaw, Ole Bøssing Christesen og Brian MacKenzie.

Richard Bradshaw ønskede sammenligninger mellem et stort udvalg af palæodata og eventuelle modelberegninger fra DMI. Disse sammenligninger kunne bruges til gensidig verifikation. En kobling af en klimamodel med en biologisk model ville have vigtige anvendelser.

Ole Bøssing Christensen præsenterede modelberegninger af et drivhusopvarmet klima i Skandinavien og af effekter af skovfældning i Middelhavsområdet.

Der var ønske om at koble DMIs regionale klimamodel med hydrologiske og biologiske modeller.

Brian MacKenzie præsenterede undersøgelser af bl.a. Østersøens fiskebestand. Til denne forskning ville der være behov for indstrømningsdata for vand til Østersøen.

Derefter blev behovet for samarbejde drøftet.

Morten Meldgaard gjorde opmærksom på eksistensen af data om menneskesamfund med eventuel anvendelse som proxydata i organisationen NABO (North Atlantic Biocultural Organization), som er amerikansk finansieret. Der udsendes et nyhedsbrev. Tilsvarende fortalte Brian MacKenzie at der eksisterer en North Atlantic Fisheries History Association (BM).

Richard Bradshaw havde meget udførlige datamaterialer til rådighed om klimavariationer i Holocæn tid og var interesseret i eventuelle tidsserier fra klimamodeller. Dette ville være en udfordring for DMI og en enestående mulighed for at verificere klimamodeller i andre klimatilstande end den nuværende.

Inge Sandholt havde behov for nedbørstidsserier for et Afrikansk område, hvor der drives intensive overflade-studier med henblik på forudsigelser af det fremtidige miljø. Der ville være behov for scenarier på 10-20 år. DMI's nytte af et samarbejde vil først og fremmest ligge i mulighederne for modelforbedringer ved en sammenligning med KU's data.

Ved Vandkvalitetsinstituttet (VKI) arbejdes der med undersøgelser af iltsvind i de danske fjorde. Til dette formål havde de behov for tidsserier, i dette tilfælde af vind; især ønskedes information om længder af perioder med svag vind. VKI's modeller viser, at vejret har en stor indflydelse på iltsvindet gennem opblandingen fra havene samt deposition fra atmosfæren. Mulighederne for samarbejde og udveksling af de ønskede data ville blive undersøgt.

Henrik Saxe fra KVL's Arboret var interesseret i stormhyppighed, gerne historiske data, på ugentlig



tidsskala. DMI kunne udnytte KVL's ekspertise om træers reaktion på varierende CO<sub>2</sub>-koncentrationer til modelforbedringer af overfladeparametriseringen i klimamodeller. F.eks. Per Gundersen ønskede realistiske tidsserier af ekstremer af temperatur til brug for undersøgelse af effekter på træer.

Brian MacKenzie var interesseret i strømningsdata til undersøgelse af blandingen af fiskeæg og føde i Nordsøen og farvandene mellem Færøerne og Nordsøen. DMI har p.t. ikke sådanne hydrografiske data til rådighed, men oceanografisk modellering indgår i klimacentrets planer.

Anne Mette Jørgensen understregede, at DMI generelt var interesseret i at levere data til forskning, men at instituttet foretrækker at etablere et samarbejde om de relevante projekter, således at der bliver udvekslet viden og ikke blot data.

Jes Fenger spurgte, om DKC skulle fungere som "ægteskabsbureau" for andre institutioner eller blot skulle etablere samarbejde mellem DMI og andre. Anne Mette Jørgensen mente, at DKC ville kunne etablere kontakter bl.a. via arrangementer i Klimaforum, men at dette ikke var en formel opgave for centeret.

Det kunne konkluderes, at der var en række idéer til samarbejdsprojekter samt at ønsker og behov fra deltagerne var ret forskelligartede, således at der primært kan blive tale om flere mindre projekter med begrænset antal deltagende institutioner i hvert projekt.

## Arbejdsgruppe 4: Andre områder (samfundsmæssige forhold, energiforsyning, trafik m.m.)

*Referent: Torben Schmith*

**Deltagere:** Niels O. Gram, Dansk Industri; Kirsten Halsnæs, Forskningscenter RISØ; Bent Sørensen, Roskilde Universitets Center; Lars Georg Jensen, Verdens Naturfonden; Søren Varming; ELSAM-projektet; Morten Prehn Sørensen, Energistyrelsen; Erik Rasmussen, Miljøstyrelsen, Torben Schmith, Danmarks Meteorologiske Institut; Henrik Feddersen, Danmarks Meteorologiske Institut.

Henrik Feddersen, DMI fortalte om de sæsonprognoser, som DMI er begyndt at udarbejde og udsende ca. en gang om måneden. Foredraget kom ind på hvorledes sæsonprognoser adskiller sig fra vejrudsigter, og på hvordan en sæsonprognose beregnes. Det centrale spørgsmål om hvor pålidelige de udsendte sæsonprognoser er, blev berørt, og det blev understreget, at selv om de første prognoser har været meget succesrige, er det ingen garanti for at prognoserne altid rammer plet. Betydningen af den igangværende El Niño blev også fremhævet. Endelig blev problemet vedrørende den rigtige formidling af sæsonprognoser nævnt.

Søren Varming, ELSAM-projektet redegjorde for elsektorens behov for vejrinformation. Vejrinformation har betydning for både indkøb/produktion og afsætning af el. Korttidsprognoser har betydning for afsætning som produktion/fordeling af vindenergi/olie/indkøb. Mellemlangt sigt (sæsoner) har betydning for vurdering af vandkraftpotentialet i Skandinavien. Vigtigheden af dette kan illustreres ved, at vandkraftpotentialet mellem en 'våd' og en 'tør' sommer er af samme størrelsesorden som Danmarks fossile elproduktion. Endelig har langsigtede forudsigelser (klimaforudsigelser) betydning på to områder: dels langtidsvurdering af vandkraft/vindenergi-potentialet og dels som grundlag for vurdering af den politiske vilje til fortsatte CO<sub>2</sub>-udledninger. Man bemærkede et grundlæggende problem, nemlig at elsektoren er mest interesserede i parametrene vind og nedbør, og det er netop de parametre, der er sværest at forudsige på alle tidsskalaer.

Torben Schmith, DMI beskrev nogle resultater fra EU-projektet WASA med hovedvægt på den historiske dimension. Der var sket en stigning i stormaktiviteten i Nordatlanten fra 1970 men før dette havde der været et fald og niveauet ved århundredets begyndelse lå på niveauet i 1990'ernes begyndelse. En vigtig pointe var at 'klima' ikke har absolut mening som en konstant størrelse, men at naturlige klimavariationer på mange tidsskalaer er et grundlæggende vilkår.

Derefter udspandt der sig en debat der drejede hen imod menneskeskabte klimaændringer og pga. gruppens meget brede sammensætning blev den nok så politisk som den blev videnskabelig. Lars Georg Jensen, WWF fremførte vigtigheden af at have IPCC som et troværdigt organ hvorpå organisationer kunne støtte sig. Man diskuterede også at virkninger af forventede klimaændringer for Europa faktisk på nogle områder var positive i form af øget vækst osv. Dette gjorde det svært at 'sælge' problemet til offentligheden, f.eks. industrien. Det var vigtigt med et globalt perspektiv. Endvidere var det ønskværdigt med en kontinuitet i den 'officielle' mening, uden at dette selvfølgelig skulle forhindre den frie forskning i alternative hypoteser. DMIs høje renommé i befolkningen gav også DMI en særlig forpligtelse. Der blev også gjort opmærksom på drivhusforskningens særlige vilkår, idet resultater lynhurtigt bliver lavet om til politik. Der er altså en vekselvirkning mellem forskning og politik.

Der var kun få forslag til konkrete samarbejdsplaner:

Bent Sørensen, RUC var interesseret i modelkørsler, hvor man globalt ændrede landbrugsudnyttelse. Og som nævnt ovenfor var elsektoren interesseret i prognoser af forskellig slags.

## **Deltagerliste ved åbningen af Danmarks Klimacenter den 29. april 1998 ved Trafikminister Sonja Mikkelsen.**

### **Deltagere:**

Aakjær, Peter, DMI  
Andersen, Rune Wåhlin, DMI  
Bates, Ray, NBIfAFG, KU  
Bengtsson, Lennart, MPI  
Bjørnsen, Peter Koefoed, DMU  
Bødtker, Erik, DMI  
Christensen, B.C., DMI  
Christensen, Jens Hesselbjerg, DMI  
Christensen, Ole Winther, GEUS  
Fenger, Jes, DMU  
Gram, Niels O., Dansk Industri  
Gundermann, Jesper, Energistyrelsen  
Gundersen, Per, Forskningscenter for Skov & Landskab  
Hansen, Aksel Walløe, NBIfAFG, KU  
Jakobsen, Per Roed, Kystinspektoratet  
Jensen, Flemming, DMI  
Jensen, Lars Georg, WWF  
Jensen, Niels Otto, RISØ  
Johnsen, Ib, KU  
Jørgensen, Anne Mette, DMI  
Kern-Hansen, Claus, DMI  
Kaas, Eigil, DMI  
Langeland-Knudsen, Jens, TERMA  
Larsen, Kurt Lykstoft, Trafikministeriet  
Laursen, Leif, DMI  
Laut, Peter, DTU  
Machenhauer, Bennert, MPI  
Madsen, Bjarne, GEUS  
Meldgaard, Morten, Dansk Polarcenter  
Mikkelsen, Ib Steen, DMI  
Mikkelsen, Naja, Miljø- og energiministeriet  
Møller, Jacob S., DHI  
Prahm, Lars P., DMI  
Rask, Michael, Miljøstyrelsen  
Rasmussen, Erik, Miljøstyrelsen  
Rasmussen, Inge Kjems, Trafikministeriet  
Refsgaard, Jens Christian, DHI  
Remmer, Niels, Trafikministeriet  
Rosbjerg, Dan, ISVA/DTU  
Saxe, Henrik, KVL  
Shaffer, Gary, DCESS  
Simonsen, Carsten, DMI  
Svensmark, Henrik, DMI  
Sørensen, Bent, RUC  
Sørensen, Jens Havskov, DMI  
Thomsen, Thorkild, Hedeselskabet  
Torp, Ulrik, Miljøstyrelsen

Toudal, Leif, DCRS/DTU  
Zachhi, Ole, Trafikministeriet

## **Deltagerliste for Dansk Klimaforums workshop den 30. april 1998**

### **Deltagere:**

Andersen, Rune Wåhlin, DMI  
Andersen, Uffe, DMI  
Bates, Ray, KU  
Bradshaw, Richard, GEUS  
Buch, Erik, DMI  
Bødtker, Erik, DMI  
Christensen, John, UNEP-centeret  
Christensen, Jens Hesselbjerg, DMI  
Christensen, Ole Bøssing, DMI  
Feddersen, Henrik, DMI  
Fenger, Jes, DMU  
Gram, Niels O., Dansk Industri  
Guldberg, Annette, DMI  
Gundermann, Jesper, Energistyrelsen  
Gundersen, Per, Forskningscenter for Skov & landskab  
Gustavson, Kim, VKI  
Hansen, Carsten, DMI  
Halsnæs, K., UNEP-centeret RISØ  
Henriksen, Hans Jørgen, GEUS  
Jensen, Flemming, DMI  
Jensen, Niels Otto, RISØ  
Jensen, Lars Georg, WWF  
Johnsen, Ib, KU  
Jørgensen, Anne Mette, DMI  
Kern-Hansen, Claus, DMI  
Kuijpers, Antoon, GEUS  
Kaas, Eigil, DMI  
Larsen, J. Bo, KVL  
Laursen, Leif, DMI  
Laut, Peter, DTU  
Machenhauer, Bennert, Max-Planck Institut für Meteorologie  
MacKenzie, Brian R., DFU  
Madsen, Bjarne, GEUS  
Madsen, Henning, DMI  
May, Wilhelm, DMI  
Meldgaard, Morten, Dansk Polarcenter  
Mikkelsen, Ib Steen, DMI  
Mikkelsen, Naja, Miljø- og Energiministeriet  
Prahm, Lars P., DMI  
Rask, Michael, Miljøstyrelsen  
Rasmussen, Erik, Miljøstyrelsen  
Rebsdorf, Anne, Kystinspektoret  
Refsgaard, Jens Christian, DHI  
Rosbjerg, Dan, ISVA/DTU

Sandholt, Inge, Geografisk Institut, KU  
Saxe, Henrik, Arboretet, KVL  
Schmith, Torben, DMI  
Shaffer, Gary, DCESS  
Svensmark, Henrik, DMI  
Sørensen, Bent, RUC  
Thomsen, Richard, Århus Amtskommune  
Thomsen, Thorkild, Hedeselskabet  
Torp, Ulrik, Miljøstyrelsen  
Toudal, Leif, DCRS/DTU  
Varming, Søren, Elsam  
Visser, Andre W., Danmarks Fiskeriundersøgelser

**Tilmeldte til arbejdsgrupperne:**

**Klimasystemet:**

Eigil Kaas, DMI  
Leif Laursen, DMI  
Erik Buch, DMI  
Henrik Svensmark, DMI  
Peter Laut, DTU  
Ray Bates, KU  
Michael Rask, Miljøstyrelsen  
Gary Shaffer, DCESS  
Niels Otto Jensen, RISØ  
Antoon Kuijpers, GEUS  
Richard Bradshaw, GEUS  
Bennert Machenhauer, Max-Planck Institut für Meteorologie  
Naja Mikkelsen, Miljø- og Energiministeriet  
Jesper Gundermann, Energistyrelsen  
Leif Toudal, DCRS/Danmarks Tekniske Universitet  
Ib Steen Mikkelsen, DMI  
Annette Guldborg, DMI

### **Fysiske systemer:**

Jens Hesselbjerg Christensen, DMI  
Richard Thomsen, Århus Amtskommune  
Anne Rebsdorf, Kystinspektoratet  
Jens Christian Refsgaard, DHI  
Thorkild Thomsen, Hedeselskabet  
Dan Rosbjerg, ISVA/DTU  
Bjarne Madsen, GEUS  
Hans Jørgen Henriksen, GEUS  
Claus Kern-Hansen, DMI  
Uffe Andersen, DMI

### **Biologiske systemer:**

Henrik Saxe, KVL  
Inge Sandholt, Københavns Universitet, Geografisk inst.  
Per Gundersen, Forskningscenter for Skov & landskab  
Morten Meldgaard, Dansk Polarcenter  
Ole Bøssing Christensen, DMI  
Kim Gustavson, Vandkvalitetinstituttet  
Richard Bradshaw, GEUS  
Ib Johnsen, KU  
Andre W. Visser, DFU  
Jes Fenger, Danmarks Miljøundersøgelser  
Brian MacKenzie, Danmarks Fiskeriundersøgelser  
Anne Mette Jørgensen, DMI

### **Andre områder:**

Henrik Feddersen, DMI  
Carsten Hansen, DMI  
Niels O. Gram, Dansk Industri  
K. Halsnæs, UNEP-centeret RISØ  
Bent Sørensen, RUC  
Lars Georg Jensen, WWF  
Søren Varming, Elsam  
Torben Schmith, DMI  
Erik Bødtker, Danmarks Meteorologiske Institut  
Erik Rasmussen, Miljøstyrelsen