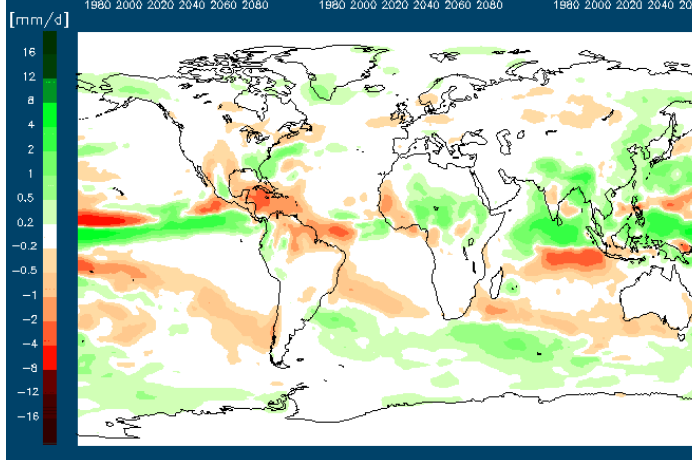
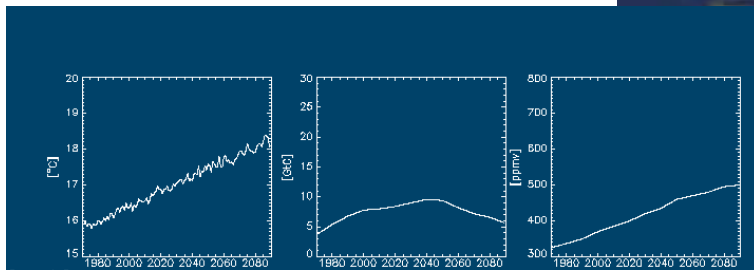


Danmarks Klimacenter

DMI, Trafikministeriet

Metoder mødes: Geofysik og emner af samfundsmæssig interesse

Dansk Klimaforums Workshop
15. - 16. maj 2000



Metoder mødes: Geofysik og emner af samfundsmæssig interesse
Dansk Klimaforums Workshop, 15. - 16. maj 2000
Dansk Klimacenter, Rapport 00-4, rev.1

Redaktion:
Jens Hesselbjerg Christensen

ISSN: 1398-490-x
ISSN: 1399-1957 (Online)
ISBN: 87-7478-415-3

København 2000

Danmarks Meteorologiske Institut
Lyngbyvej 100
2100 København Ø

Telefon: +45 3915 7500
Telefax: +45 3927 1080
www.dmi.dk

Forsidebilleder: DMI og Vadehavscentret

Indholdsfortegnelse	side
Indledning	3
Introduction in English	5
Program	7
Abstracts:	
<i>Hans von Storch</i> : Challenges in climate change research	9
<i>Martin Stendel</i> : Observed climate changes in the Twentieth Century	11
<i>Peter Thejll</i> : Solar forcing of the Northern hemisphere land air temperature: New data.....	12
<i>Torben Schmith</i> : Global warming signature in observed winter precipitation in NW Europe.....	14
<i>Povl Frich</i> : Monitoring climate change, using national, European and global indicators	15
<i>Wilhelm May</i> : A time-slice experiment with the ECHAM4 AGCM: Aspects of the hydrological cycle.....	20
<i>Jens H. Christensen</i> : Scenarier for regionale klimaforandringer i de nordiske lande og Grønland.....	21
<i>Eigil Kaas</i> : Potential changes in extreme wind and precipitation events in a warmer climate.....	23
<i>Jørgen E. Olesen</i> : Konsekvenser af klimaændringer for landbrugsproduktionen i Europa.....	25
<i>Henrik Søgaard</i> : Om CO ₂ balancen i danske landbrugsområder og dens følsomhed over for ændringer i temperaturen.....	29
<i>Bent Sørensen</i> : Socio-economic consequences of greenhouse warming	30
<i>Per Gundersen</i> : Effekter af klimaforandringer på naturlige økosystemer: Hede som eksperimentelt modelsystem	41
<i>Karen Edelvang</i> : Vandmiljøet i Danmark: Fremtidige klimapåvirkninger kan simuleres med Farvandsmodellen.....	42
<i>Jes Fenger</i> : Drivhuseffekt og klimaændringer - et U-landsproblem.....	45
<i>Kirsten Halsnæs</i> : Internationalt samarbejde om drivhusgasreduktion mellem lande med reduktionsforpligtelsen i Kyoto Protokollen og lande uden sådanne forpligtelser - et dansk perspektiv	49
Forkortelser/akronymer	52
Deltagerliste.....	53
Om Danmarks Klimacenter	55

Dansk Klimaforums workshop den 15. - 16. maj 2000 om klimaforandringer og deres betydning for det danske samfund

Metoder mødes: Geofysik og emner af samfundsmæssig interesse.

Det moderne samfund bliver stadig mere komplekst, og policymæssige beslutninger som regulering af aktiviteter, der har betydning for klimaudviklingen, bliver i stigende grad afhængige af avancerede modeller af meget komplekse systemer.

Det er afgørende for troværdigheden af de scenarier for fremtiden, som beslutningstagerne får stillet til rådighed, at metoder og usikkerheder er veldokumenterede lige fra beskrivelsen af emissionsscenarier over klimamodeller og konsekvensstudier, til beregninger af samfundsmæssige og økonomiske konsekvenser af de mulige ændringer.

I 1992 blev der på initiativ af Miljøstyrelsen udarbejdet en større udredning om fremtidige klimaændringer og deres betydning for Danmark på basis af rapporter fra FN's klimapanel IPCC, og i 1996 blev der udgivet en ny bog set i lyset af IPCC's Second Assessment Report fra samme år. Siden er der beregnet nye og mere detaljerede scenarier og foretaget omfattende analyser af ændringer i fx stormaktivitet og nedbørmønstre.

På Dansk Klimaforums 2000-workshop fortalte forskere fra DMI/Danmarks Klimacenter om de nye scenarier, og der var inviteret bidrag inden for følgende temaer:

- Klimaforandringer
- Effekter af klimaforandringer
- Økonomiske og samfundsmæssige virkninger af klimaforandringer

De vigtige klimaspørgsmål, som stadig trænger sig på, kan kort formuleres således: Er det et faktum at menneskeheden påvirker klimaudviklingen med det fortsatte udslip af drivhusgasser i atmosfæren? Hvis det forholder sig således, hvilke bliver så de mest betydelige konsekvenser for livet på Jorden i vore børn og børnebørns levetid? Endelig, hvordan kan vi i givet fald gøre noget for at mindske de værste konsekvenser, eller er vi parate til at tilpasse os udviklingen?

Danmarks Klimacenter ved DMI blev oprettet for at sikre et dansk bidrag til besvarelsen af de to første spørgsmål. Ekspertisen ved DMI inden for klimamodellering og behandling af klimadata har gennem mange år været betydelig. Men ikke mindst takket være etableringen af Danmarks Klimacenter ved DMI er meget af arbejdet nu udgivet i internationale tidsskrifter og internationalt anerkendt. Endvidere er flere af centrets medarbejdere nu aktive bidragydere til den kommende rapport fra FN's klimapanel IPCC om klimaforandringer.

I den forrige IPCC rapport var svaret på det første af de ovennævnte spørgsmål, at forskningsresultaterne peger imod, at der er en skelnelig effekt af menneskelig påvirkning af Jordens klima. I den kommende rapport vil dette indtryk næppe blive svækket, snarere tværtimod. Men i den forløbne tid har det til stadighed været undersøgt, om der er grund til at tvivle på IPCC's udlægning af den internationale forsknings resultater. Fra Danmark vakte nye resultater om en mulig sammenhæng mel-

lem solaktivitet og Jordens klima fornyet international opmærksomhed og var med til at så tvivl om IPCC's konklusioner. Nogle gik endog så vidt som til at erklære drivhuseffekten for død. Undersøgelserne fortsætter, og debatten er langt fra slut. De nyeste resultater fra DMI og andre har på det seneste atter givet drivhusteorien vind i sejlene. Dette er alt sammen blandt de emner, der blev debatteret på workshoppen.

Danish Climate Forums Workshop on Climate Changes and their impact on the Danish Society, 15 - 16 May 2000

Confronting methods: Geophysics and issues of societal interest

Modern society is getting ever more complex, and policy decisions on regulating aspects with climate related consequences increasingly depend on advanced models of complex systems.

It is crucial for the credibility of the scenario calculations of future climate change which are provided to policy makers, that the methods and uncertainties involved are well documented in all aspects from the description of emission scenarios over climate modelling to impact related studies.

By an initiative from the Environmental Agency in 1992 and again in 1996 following the IPCC second assessment report, two books assessing the role of anthropogenic climate change for Denmark were issued. Since then, more and much more detailed scenario calculations have been carried out world wide.

Danish Climate Forum's workshop 2000 was set to update the society on recent developments in the field and contributions within the themes were invited:

- Climate changes
- Impacts of climate change
- Societal impacts and mitigation strategies meeting climate changes

In short, the important questions related to climate change are: a) Is climate indeed changing due to anthropogenic induced forcings? b) If so, what will be the most important consequences for life on Earth for the coming generations? c) Can we minimise the consequences of climate changes or are we prepared to adapt to future climate change?

The Danish Climate Centre was established in order to assure a Danish contribution to the answer to the first two questions. Scientists at DMI have been involved in climate research for a long time, but the establishment of the Danish Climate Centre has intensified the efforts at DMI, and as a result the Centre and its staff are actively contributing to the IPCC process.

In the previous IPCC assessment report the answers to the first question above was as follows: "The balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate". In the upcoming assessment report there is no reason to believe that this impression will be reduced, on the contrary. In Denmark the discussion has been going on since the second assessment report whether IPCC is underestimating climate forcing caused by solar variations. This debate has been intensified by the results from Danish research, pointing out a strong correlation between recent Solar activity and the terrestrial climate. At DMI the latest results indicate that this role of the Sun seems to have been overplayed and hence that part of the observed warming of the Earth is very likely to have an anthropogenic origin. This was also addressed at the workshop.

DANSK KLIMAFORUM 2000
Workshop om Klimaforandringer
og deres betydning for det danske samfund

Danmarks Klimacenter, Danmarks Meteorologiske Institut
København, 15. - 16. maj 2000

Program

Mandag den 15. maj 2000

09:30 Velkomst v/ direktør Lars P. Prahm

09:35 Introduktion og praktiske bemærkninger v/ divisionschef Anne Mette Jørgensen

Session om Klimaforandringer I (ordstyrer Leif Laursen)

09:40 Challenges in climate change research v/ Hans von Storch, GKSS Forskningscenter, Tyskland

10:25 Observed climate changes in the twentieth century v/ Martin Stendel, DMI

10:55 *Kaffepause*

11:15 Solar forcing of the Northern hemisphere land air temperature: New data v/ Peter Thejll, DMI

11:35 Global warming signature in observed winter precipitation in NW Europe? v/ Torben Schmith, DMI

12:00 Monitoring climate change, using national, European and global indicators v/ Povl Frich, The Met. Office, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, England

12:30 *Frokost*

Session om Klimaforandringer II (ordstyrer Bennert Machenhauer)

13:30 A time-slice experiment with the ECHAM4 AGCM: Aspects of the hydrological cycle v/ Wilhelm May, DMI

14:00 Scenarier for regionale klimaforandringer i de nordiske lande og Grønland v/ Jens Hesselbjerg Christensen, DMI

14:30 Potential changes in extreme wind and precipitation events in a warmer climate v/ Eigil Kaas, DMI

15:00 *Kaffepause*

Session om Effekter I (ordstyrer Bennert Machenhauer)

15:20 Konsekvenser af klimaændringer for landbrug i Europa v/ Jørgen E. Olesen, Danmarks JordbrugsForskning

- 16:00 Om CO₂ balancen i danske landbrugsområder og dens følsomhed over for ændringer i temperaturen v/ Henrik Søgaard, Geografisk Institut, KU
16:25 Socio-economic consequences of greenhouse warming v/ Bent Sørensen, RUC
16:50 Afslutning dag 1

Tirsdag den 16. maj 2000

Session om Effekter II (ordstyrer Anne Mette Jørgensen)

- 09:15 Effekter af klimaforandringer på naturlige økosystemer: Hede som eksperimentelt modelsystem v/ Per Gundersen, Forskningscenter for Skov og Landskab
09:45 Vandmiljøet i Danmark: Fremtidige klimapåvirkninger kan simuleres med Farvandsmodellen v/ Karen Edelvang og Kim Gustavson, DHI, Institut for Vand og Miljø

10:15 Kaffepause

Session om Økonomiske og samfundsmæssige virkninger (ordstyrer Jens H. Christensen)

- 10:30 Drivhuseffekt og klimaændringer – et U-landsproblem v/ Jes Fenger, Danmarks Miljøundersøgelser
11:10 Internationalt samarbejde om drivhusgasreduktion mellem lande med reduktionsforpligtigelsen i Kyoto Protokollen og lande uden sådanne forpligtigelser - et dansk perspektiv v/ Kirsten Halsnæs, UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, RISØ
11.50 Afsluttende bemærkninger v/ Anne Mette Jørgensen

Udfordringer for fremtidens klimaforskning

v/ Prof. Dr. Hans von Storch, GKSS Forskningscenter, Geesthacht, Tyskland

Klimaforskning har oplevet en dramatisk forandring i de sidste år. For hundrede år siden var klimatologien en slags bogholderi for meteorologerne; det globale klima var summen af alle regionale klimaer. I midten af det 20. århundrede blev klima meteorologernes ejendom. Det drejede sig om at have de rigtige statistikker for at hjælpe med drift af landbrug, fiskeri, byggeri osv. I 1950'erne kom computere, og fysikerne begyndte at modellere klimasystemet med detaljerede modeller. Dertil kom effektiv telekommunikation, bedre og bedre observationssystemer med satellitter og avancerede analysesystemer. Klima var blevet et naturvidenskabeligt system, videnskab, som forklarer hvordan klimasystemet fungerer, nemlig som en termodynamisk maskine, drevet af solens energi, med en indviklet mekanisme til at omsætte denne energi.

I 1980'erne kom en signifikant forandring. Det var ikke mere kun informationen for bygherrer og landmænd, men der kom en indsigt i klimaets skrøbelighed; med udsigt til at menneskene kan forandre klimaet for bestandigt ved at udslippe drivhusgasser, aerosoler og at nedbrænde tropiske skove. Det fleste klimatologer sidder i dag bag kraftigere og kraftigere computere og modellerer klimaet og dets sensitivitet over for menneskelig aktivitet i større og større detalje. Men kun et mindretal af forskerne forklarer offentligheden den truende fare. Nogle af dem er faktisk gået hen og blevet miljøaktivister. Klima er ikke mere udelukkende genstand for fagmænd, men det diskuteres i avisernes spalter. Det er ikke længere nødvendigt at forklare et begreb som "drivhuseffekten" i TV-Avisen.

Disse to faktorer, nemlig modellering af et omfattende klimasystem, dets naturlige variabilitet og dets sensitivitet mod eksterne faktorer (som varierende sol stråling, koncentration af drivhusgasser og vulkanske aerosoler osv.) og udspreddning af viden om mulige klimaforandringer i samfundet, danner de største udfordringer for fremtidens klimaforskning. Klima er blevet "postnormal", dvs. det er karakteriseret af stor usikkerhed om de egentlige fakta, men samfundet betragter farerne så alvorlige at konsekvenserne bør drages nu og her. Men reaktionerne på truslen kan faktisk være meget mere betydelig end forandringer af klimaet selv. Økonomien er mere interesseret i forudsigelser af fremtidens lovlige regler om emissionsgrænser end i forudsigelser af klimaet selv. Forestillingerne om klimaet er blevet en politisk faktor. Klimaforskning er blevet et område ikke bare for naturvidenskaben, men også for social- og kulturvidenskaben.

For naturvidenskaben gælder det om at udvide forståelsen for "klima" systemet med hensyn til tiden (paleoklima), klimarelevante faktorer (biogeokemiske kredsløb) og klimasensitive faktorer (regionalisering af klimaforandringer; klimapåvirkning). Det må ske gennem en national og international arbejdsdeling, fordi der ingen nødvendighed og mening er i at lave bekostelige globale scenarier af klimaforandringer i alle lande og laboratorier. I stedet, bør sådanne scenarier produceres i få internationale centre. Modsat regionalisering, effekt på klimasensitive systemer (fx. stormflod, skove, landbrug), hvor der kræves en nødvendig basisforskning i nye elementer (fx. atmosfærens kemi, paleoklimatiske rekonstruktioner) på en decentraliseret måde.

For samfunds- og kulturvidenskaberne drejer det sig om at finde ud hvordan klimaforandringer vil have indflydelse på samfundet og økonomien, hvilke muligheder samfundet har for at reagere på mulige forandringer (abatment vs. adaptation), hvordan sociale og kulturelle mønstre har indflydelse på forskningen selv, og hvordan viden transformeres på sin vej fra videnskab til samfundet og

politikere. For eksempel, jurister ville betænke international lovgivning, historikere vurdere virkning af klimatiske forandringer i fortiden, religionsvidenskaben vil kunne berette om grundene til at menneskene til alle tider og i alle verdensdele har været bekymret over pålideligheden af klimaet.

Både natur- og samfunds/kulturvidenskaberne har til opgave, at forklare offentligheden koncepterne: begrænsningerne i videnskabelig viden, og risici ved at bruge sådan en viden til at styre samfundet. Opgaven for videnskaben er ikke bare at samle viden, men at sætte viden i sammenhæng.

Observed climate changes in the Twentieth Century

by PhD Martin Stendel, Danish Meteorological Institute

There is evidence for changes in climate during the twentieth century. However, not all of these reflect real climate changes due to human activities. There are a number of uncertainties in observed data as well.

The data sets used in this study include (a) in situ observations, (b) radiosonde measurements, (c) microwave satellite observations (MSU) and (d) reanalyses. The main problem with in situ observations and radiosonde data is the poor spatial and temporal coverage: there are almost no observations over the oceans and in polar regions. Satellite observations are global, but generally suffer from coarse vertical resolution. By means of four-dimensional data assimilation all kinds of observations can be used to create reanalyses. Reanalyses use numerical forecast models with a "frozen" data assimilation. They should therefore yield data that are uninfluenced by the numerous changes in model physics by which operational analyses are typically affected.

In regions with abundant conventional data coverage, where the MSU has no major influence on the reanalysis, temperature anomalies obtained from microwave sounders, radiosondes and from both reanalyses agree reasonably well. For regions without sufficient coverage of conventional observations, in particular the tropical oceans, large differences are found between the MSU and either reanalysis. These differences apparently relate to changes in the satellite data availability and to differing satellite retrieval methodologies, to which both reanalyses are quite sensitive over the oceans. For NCEP, this results from the use of raw radiances directly incorporated into the analysis, which make the reanalysis sensitive to changes in the underlying algorithms, e.g. those introduced in August 1992. For ERA, the bias-correction of the one-dimensional variational analysis may introduce an error when the satellite relative to which the correction is calculated is biased itself or when radiances change on a time scale longer than a couple of months, e.g. due to orbit decay. ERA inhomogeneities are apparent in April 1985, October/November 1986 and April 1989. These dates can be identified with the replacements of satellites.

It is possible that a negative bias in the sea surface temperatures (SSTs) used in the reanalyses may have been introduced over the period of the satellite record. This could have resulted from a decrease in the number of ship measurements, a concomitant increase in the importance of satellite-derived SSTs, and a likely cold bias in the latter. Alternately, a warm bias in SSTs could have been caused by an increase in the percentage of buoy measurements (relative to deeper ship intake measurements) in the tropical Pacific. No indications for uncorrected inhomogeneities of land surface temperatures could be found. Near-surface temperatures have biases in the boundary layer in both reanalyses, presumably due to the incorrect treatment of snow cover. The increase of near-surface compared to lower tropospheric temperatures in the last two decades may be due to a combination of several factors, including high-latitude near-surface winter warming due to an enhanced NAO and upper-tropospheric cooling due to stratospheric ozone decrease.

After accounting for all kinds of uncertainties, we find indications for recent warming from near-surface temperatures that have been carefully corrected for inhomogeneities (urbanisation effects) and from the heat content of the upper ocean.

Solar forcing of the Northern hemisphere land air temperature: New data

by PhD Peter Thejll and Knud Lassen, Danish Meteorological Institute

In a now well-known publication, Friis-Christensen and Lassen presented a comparison of the smoothed northern hemisphere land air temperature (NHLT) for the instrumental era to smoothed values of the solar cycle length (SCL). A close correlation was found and it looked as if nearly all temperature variation could be explained by the simple solar model - the rise from 1900 to 1940 and the fall from 1940 to 1970 and the rise from then on were all closely tracked by the SCL curve. That work (Friis-Christensen and Lassen, *Science*, vol 254, p. 698-700, 1991) is much cited in the debate over whether the currently observed temperature rise is due to the greenhouse effect or due to natural causes, despite lacking any explanatory powers in terms of the underlying physical processes.

As a consequence of the importance of this work it was decided to update it as soon as enough new data had accumulated, in order to provide a test of its predictive powers about future trends in temperature. This talk presented that work using the latest land air temperatures for the Northern hemisphere by Jones and the additional solar cycle length information that has accumulated. In order to better use the end intervals of the data series it was also decided to use a shorter filter to smooth the SCL's and to use predictions about future solar activity. The addition of the new data and the choice of the shorter filter resulted in data being analysed up to 1990. Tests showed that the predictions used for solar activity in the future were not important for the outcome of the re-analysis.

As before the SCL values were scaled and offset using the best linear regression model: $T = a + b * SCL_{121}$. The regression was verified using a non-linear regression method that allows errors in both the ordinate and the abscissa.

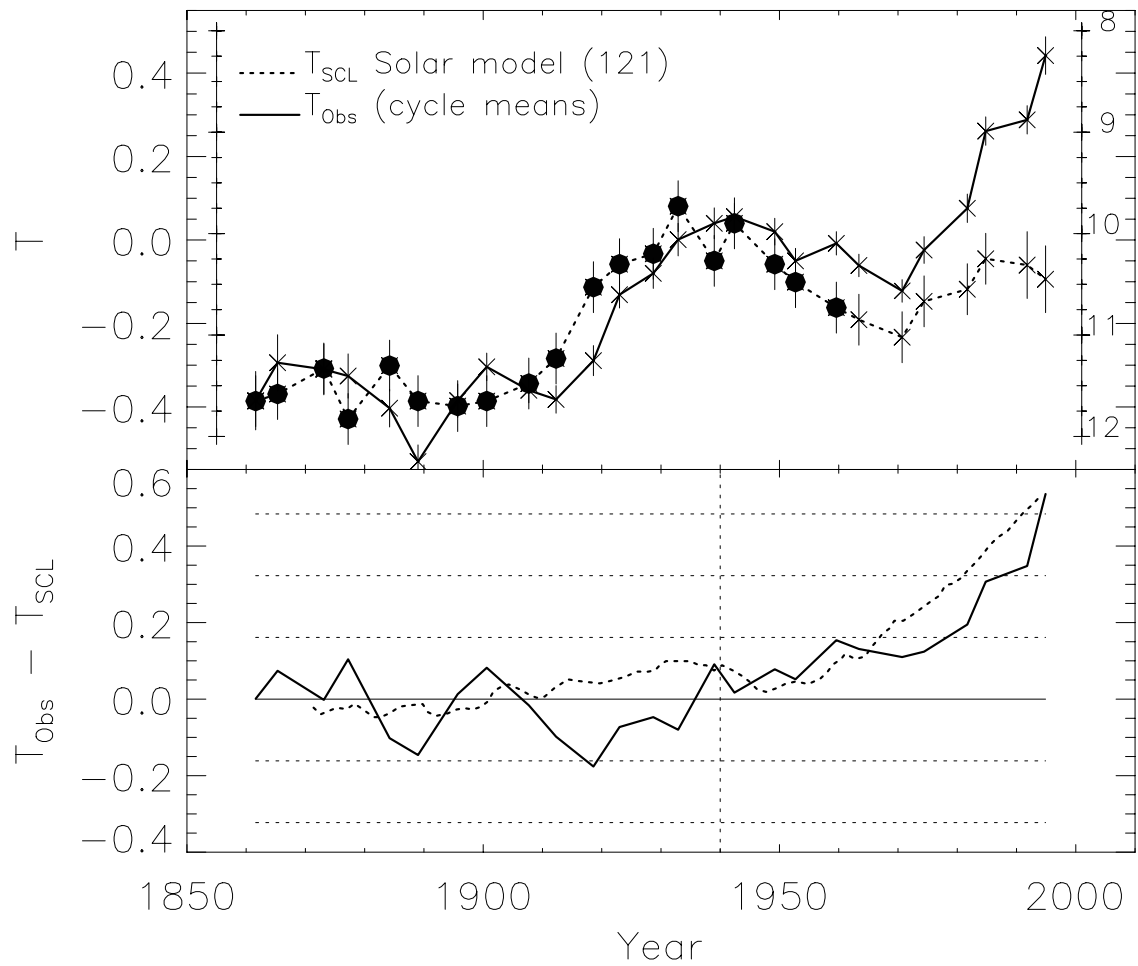
Figure 1 (upper panel) shows that the scaled SCL values fit the observed T values quite well, up to about 1980, but that in the time since a widening gap is seen, indicating that an additional factor is influencing the temperature. The lower panel in Figure 1 shows the difference (solid line) between observed and model temperatures, along with a model prediction of the effects of the increasing amounts of greenhouse gasses as well as those due to cooling aerosols (dotted line).

The similarity is evident, suggesting that the additional factor seen in temperatures since about 1980 may be due to the emergence of the greenhouse effect from amongst the natural variability.

Because of the limited number of truly independent observed temperature data points in the smoothed curve, and the large number of free or nearly free parameters used in the climate model it is not possible to evaluate the statistical significance of the match seen between rising temperature residuals and rising effects due to greenhouse gasses.

For the above reason the main conclusion of this work is that the SCL model explains most of the temperature variability up to about 1980, even when the shorter filter is used, but that an additional factor influencing the temperature is seen after that time. Applying 'Occams Razor' to the competing theories this additional factor is most simply explained as the long-expected greenhouse effect in that the greenhouse model currently is the most straightforward explanation with fewer uncertainties and unknowns than potential alternatives.

This work is being published in the Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. The DMI Scientific Report (99-9) contains a preprint of the paper and is available on demand.



Global warming signature in observed winter precipitation in NW Europe?

by MSc Torben Schmith, Danish Meteorological Institute

Over large parts of Northwestern Europe, a systematic increase of winter precipitation has been observed throughout the 20th century. It is tempting to attribute this to the global warming, since a warmer atmosphere can contain more water vapour due to the Clausius-Clapeyron equation. On the other hand, a contribution could also be connected to atmospheric circulation changes, as manifested in the positive phase of the North Atlantic Oscillation since the early 1970es.

Therefore, in this study, we investigate whether variability in winter precipitation over large areas of Northwestern Europe on timescales of years and longer can be explained by changes in the mean atmospheric circulation. This is done by applying a linear statistical method (multi-linear regression) linking the time series of winter precipitation at 37 stations in Northwestern Europe to the winter mean MSL pressure field over Northern North Atlantic during the period 1900-1990. Having determined the coefficients in this model, the corresponding *hindcasted* time series is also obtained from the model. This time series consist of annual values of winter precipitation, which would have occurred, if only MSL circulation was the determining factor.

It is found, that the interannual variability of winter precipitation is linked to the MSL circulation to a large degree. This is quantified by the multiple correlation coefficient between the time series of observed and hindcasted values. In contrary, it appears that the lowest frequencies are not related to changes in the circulation. This shows up as a systematic positive trend in the difference between the observed and hindcasted precipitation (the *residual* precipitation) for the majority of series. A Monte Carlo test reveals that this result is unlikely to have occurred by chance. This is interpreted as a change in the physics of the climate system, due to enhanced greenhouse forcing, to changes SSTs in connection with some very low frequency mode or to changes in land use enhancing the hydrological cycle.

A more detailed study, based on daily precipitation and MSL pressure data was carried out for 4 Danish stations. The aim of this was to reveal whether it was a) a non-stationarity between mean circulation and synoptic activity which was responsible for the systematic increase in residual winter precipitation or, alternatively, whether b) the synoptic activity has become more 'efficient' in driving the hydrological cycle. Hypothesis a) was investigated by statistically modelling the link between the mean winter circulation and the local synoptic activity, based on a local vorticity index, calculated back to 1875 from station-based pressure observations. Hypothesis b) was similarly investigated by a statistical model in which the probability of precipitation on a given day was conditioned on the local vorticity index. In both sub-analyses, residual precipitation trends were analysed. It turned out that case b) was responsible for the observed trends in residual precipitation during winter.

Monitoring climate change, using national, European and global indicators

by Povl Frich, The Met. Office, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, England

Introduction

Global change indicators are developed and maintained by the Hadley Centre for Climate Prediction and Research. The aim of using these aggregated indicators is to monitor climate change as it happens. New indicators of climatic extremes have been developed and will form the basis for a coherent climate information system. Increasingly, climate change detection and attribution studies focus on changes in extreme events, which require daily observations. As access to full resolution daily data is restricted, we have defined a wide range of derived climatic indicators, which can be exchanged between and used by both modelling groups and observationalists alike for climate change detection studies. Global datasets of unambiguously defined indicators will also provide the baseline for evaluating climate change scenarios for decades to come. Both traditional climate change indicators and these new extreme indicators have been developed in close collaboration with leading international centres and they will be available on the www as resources allow.

Climatic Indicators Currently Available

A number of global, regional and national indicators are developed and maintained by the Climate-Variability Group at the Hadley Centre for Climate Prediction and Research. Time series of these indicators are maintained and updated frequently at:

<http://www.meto.govt.uk/research/hadleycentre/index.html>

INDICATOR	DEFINITION	START	SOURCE
Global			
HadCRUG	Global mean temperature series based on joint Hadley Centre marine and Climatic Research Unit land data, also known as the HadCRUT database	1860	Parker et al. 1995; Jones et al., 1999
HadGLST	Global mean Land Surface Temperature series	1860	Jones et al., 1999
HadGSST	Global mean Sea Surface Temperature series	1856	Parker et al. 1995
HadGNMT	Global mean Night Marine air Temperature series	1856	Parker et al. 1995
HadGTTR	Global mean Tropospheric Temperature based on Radiosonde data	1961	Parker et al., 1997
Regional			
HadNHIE	Northern Hemisphere sea Ice Extent in million square kilometres	1871	Rayner et al., 2000
HadNINO	Tropical Pacific El Niño and La Niña sea surface temperature anomalies (Box 5N-5S, 80W-180W)	1871	Rayner et al., 2000
National			
HadCET	Central England Temperature series. Monthly version considered homogeneous back to 1772. Daily series homogeneous since 1878	1659	Manley, 1974; Parker et al., 1992
HadEWP	England-Wales Precipitation series. Monthly version considered homogeneous back to 1900, Daily series homogeneous since 1931	1766	Jones & Conway, 1997; Alexander & Jones, 2000

Table 1: Selected Global, regional and national indicators for monitoring climate change.

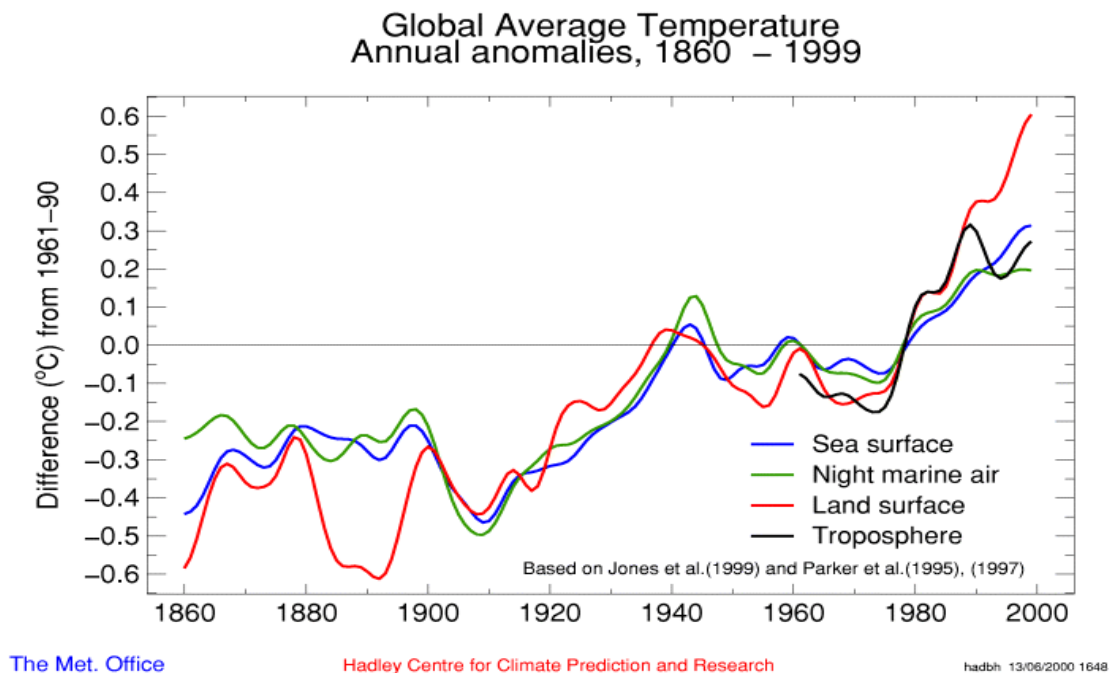


Figure 1: A summary diagram illustrating the evolution since 1860 in the main global temperature indicators.

Although the observed temperature evolution is roughly parallel in most of the period since 1860 (c.f. Nicholls et al., 1996), the global mean land surface temperature appears to have been cold relative to the marine data around 1890 and warmer than the marine data in the 1990ies. This problem may be related to the increasing difficulty of getting access to global data of sufficient quality and quantity (Folland et al. 2000).

Changing Extremes

Following a WMO CCL/CLIVAR Working Group meeting in Bracknell in September 1998 and subsequent meetings in Australia, USA and Europe, a selection process has resulted in a shortlist of ten extremes indicators. The objective is to compile a global dataset of time series derived from daily temperature and precipitation series from as many stations as possible worldwide. The ten elements, which have been selected, are listed here. The numbering system follows Frich et al. (1996) with later additions (Frich, 1999).

INDICATOR		DEFINITION	UNIT
125	Fd	Total No. of days with Frost ($T_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	days
141	ETR	Intra-annual Extreme Temperature Range ($T_h - T_l$)	0.1 K
143	GSL	Growing Season Length (period when $T_{day} > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ for > 5 days and $T_{day} < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ for > 5 days)	days
144	HWDI	Heat Wave Duration Index (maximum period > 5 consecutive days with $T_{max} > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ above the 1961-90 daily T_{max} normal)	days
194	Tn90	Percent of Time $T_{min} > 90^{\text{th}}$ percentile of daily minimum temperature	%
606	R10	No. of days with precipitation ≥ 10 mm/day	days
641	CDD	Maximum No. of Consecutive Dry Days ($R_{day} < 1$ mm)	days
644	R5D	Maximum 5 day precipitation total	0.1 mm
646	SDII	Simple Daily Intensity Index (Annual total/No. of Rdays ≥ 1 mm/day)	0.1 mm/day
695	R95T	Fraction of annual total precipitation due to events exceeding the 1961-90 95 th percentile	

Table 2: Suggested ten indicators for monitoring change in climatic extremes world-wide.

These recommended indices potentially covers many aspects of a changing global climate. **Fd** would cover the winter season in all extra-tropical regions. **ETR** would span the most extreme events of the summer and winter seasons. **HWDI** would sample the daytime maxima during the summer half year in most climates and **Tn90** would sample the warm late summer and early autumn nights, **GSL** would sample spring and autumn anomalies in the extra-tropical regions. **CDD** would be a valuable drought indicator for the dry part of the year, whilst **R10** and **SDII** would similarly summarise the wet part of the year. **R5d** and **R95T** would represent the most extreme flood-producing events of the year.

A majority of the indicators show significant changes over the past 4-5 decades. The global maps will be finalised during the course of June and July 2000, during which period additional station data will be included from various sources (Frich et al., in prep.).

In many parts of the world, **ETR** shows a systematic and statistically significant decline over the past 4-5 decades (c.f. Frich et al., 2000). Often the reductions are as big as several degrees and they are mainly caused by the increasing night time temperatures (Tuomenvirta et al., 2000). The warming nights are even more clearly shown in the **Tn90** indicators, showing a nearly uniform global increase in all those land areas examined so far.

Summary

A coherent climate information system will need to be based on a systematic naming convention for well-defined climatic indicators to facilitate access to climate data and metadata. This will help to secure a seamless interface within and between National Met Services (NMS), being the main data

providers. Increasingly, climate change monitoring will focus on changes in extreme events, which require an agreed set of indicators based on homogeneous series of daily observations. However, there are still homogeneity problems, particularly with maximum and minimum temperature series which need to be overcome before a global overview of changing extremes can be established with confidence (e.g. Nordli et al. 1997, Tuomenvirta et al., 2000).

The following summary of recently observed anomalies may help to paint a picture of a rapidly changing climate. Recent record-breakers from long Danish time series maintained by DMI have been included for completion.

Temperature:

1998 was the warmest year globally since records began in 1856.

1999 was the warmest year in the Central England Temperature (CET) since records began in 1659,

1999 had the highest mean CET nighttime temperatures observed since records began in 1878.

April 2000 was the warmest in Copenhagen since records began in 1751.

Precipitation:

1999 was the wettest year in Denmark since records began in 1874.

April 2000 was the wettest in England & Wales since records began in 1766.

Circulation Changes:

Dramatic regional and seasonal changes in the UK precipitation has been linked to circulation changes. Wetter winters (October -March) in Northwest Scotland in recent decades and drier summers (July and August only) since the early 1970ies have been linked to atmospheric circulation changes.

Climate change indicators:

European and global collaboration is gaining momentum, with a number of new indicators becoming available for plotting at: <http://www.knmi.nl/samenw/eca/index.html>. Preliminary analysis of global patterns of change in extremes during the second half of the 20th century show that positive changes dominate (more rain, less heating demand, longer growing season), but much research is still needed. Some of the adverse effects include: higher frequency of tropical nights, which could lead to higher mortality. However, the worst changes in extremes are still to be seen (e.g. more storms, droughts and floods). This will require closer collaboration between data producing centres and modelling groups. If a reliable climate change monitoring programme should have any effect, more work needs to be done to collate more daily data from the tropics and subtropics, as well as use these data better in connection with higher resolution models. Modelling observed climate change is a key challenge in our attempt to understand future changes in our climate.

References

Folland, C.K., P. Frich, N. Rayner, T. Basnett, D.E. Parker & B. Horton, 2000: Uncertainties in Climate Data Sets - a Challenge for WMO. WMO Bulletin, Volume 49 No. 1, 59-68.

Frich, P., 1999: REWARD - A Nordic Collaborative Project. Annex of "Meeting of the Joint

CCI/CLIVAR Task Group on Climate Indices, Bracknell, UK, 2-4 September 1998, Folland, C. K.,

- Horton, E. B. and Scholefield, P. R. (Eds), World Climate Data and Monitoring Programme, WCDMP-No. 37, WMO-TD No. 930. WMO (1999).
- Frich, P., H. Alexandersson, J. Ashcroft, B. Dahlström, G.R. Demarée, A. Drebs, A.F.V. van Engelen, E.J. Førland, I. Hanssen-Bauer, R. Heino, T. Jónsson, K. Jonasson, L. Keegan, P.Ø. Nordli, T. Schmith, P. Steffensen, H. Tuomenvirta, O.E. Tveito, 1996: North Atlantic Climatological Dataset (NACD Version 1) Final Report. Danish Meteorological Institute, Scientific Report 96-1, 47pp. (also available at: <http://web.dmi.dk/f+u/publikation/videnskabrap.html>).
- Frich, P., L.V. Alexander, D. Collins, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. Klein Tank, T. Peterson, N. Plummer & B. Trewin, in prep.: Global change in extremes during the second half of the 20th century. Manuscript in preparation.
- Jones P.D., New M., Parker D.E., Martin S. & Rigor I.G. 1999 Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, 37, 2, pp. 173-199.
- Nicholls, N., G.V. Gruza, J. Jouzel, T.R. Karl, L.A. Ogallo & D.E. Parker with contribution from P. Frich, 1996: Chapter 3. Observed climate variability and change. P. 137-192 in *Climate Change 1995 - The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A Kattenberg & K. Maskell (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 572 pp.
- Nordli, P.Ø., H. Alexandersson, P. Frich, E.J. Førland, R. Heino, T. Jónsson, H. Tuomenvirta & O.E. Tveito, 1997: The effect of radiation screens on Nordic time series of mean temperature. *International Journal of Climatology*, 17, 1667-1681.
- Parker D.E., Folland C.K. & Jackson M. 1995, Marine surface temperature: observed variations and data requirements. *Climatic Change* 31, pp. 559-600.
- Parker D.E., Legg T.P. & Folland C.K. 1992, A new daily central England temperature series, 1772-1991. *Int. J. Climatol.*, 12, pp317-342
- Rayner N., D.E. Parker, E.B. Horton, C.K. Folland, L.V. Alexander & P. Frich, 2000: The HadISST1 Global Sea-Ice and Sea Surface Temperature Dataset, 1871-1999. Hadley Centre Technical Note HCTN17. Manuscript in preparation.
- Tuomenvirta, H., H. Alexandersson, A. Drebs, P. Frich, & P.O. Nordli, 2000: Trends in Nordic and Arctic temperature extremes and ranges. *J. Climate*, 13, 977-990.

A time-slice experiment with the ECHAM4 AGCM: Aspects of the hydrological cycle

by PhD Wilhelm May, Danish Meteorological Institute

A time-slice experiment has been performed with the ECHAM4 AGCM at a horizontal resolution of T106 with each time-slice covering a period of 30 years. The first time-slice represents the present-day climate and the second one the climate at a time, when the carbon dioxide concentration in the atmosphere has doubled. In these time-slices the atmosphere has been forced by monthly mean values of the sea surface temperatures, the sea-ice extent and the sea-ice thickness originating from a transient simulation with the ECHAM4/OPYC AOGCM at a horizontal resolution of T42. In these simulations the concentrations of the important greenhouse gases have been prescribed according to the IPCC scenario IS92a.

By comparing the two periods of the time-slice experiment with each other we assess, to which extent the various components of the hydrological cycle may change in the future climate. This includes not only changes in the mean statistics, but also in the occurrence of extreme events such as periods with excessive rainfall and droughts.

By comparing the time-slice experiment with the climate change simulation, which has provided the lower boundary forcing, we investigate, to which extent the change depends on the resolution. This provides an estimate of the uncertainties of the climate changes inferred from the simulations.

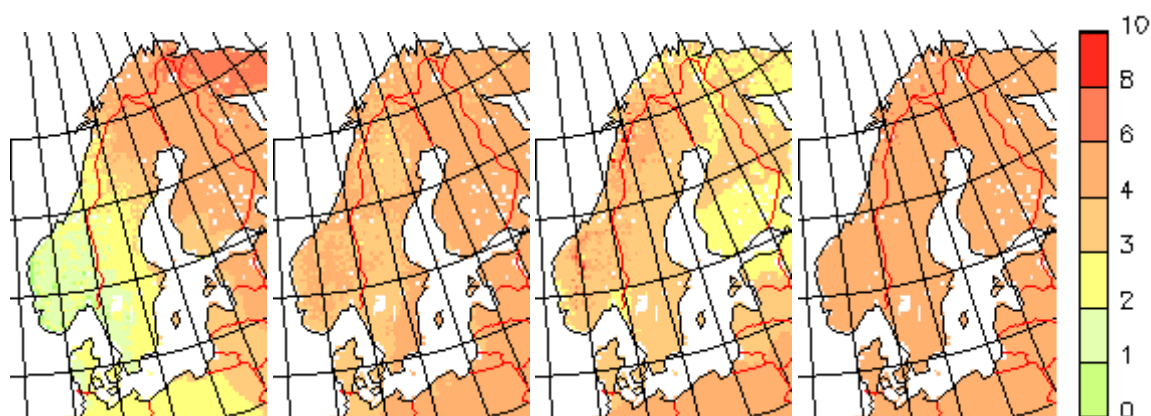
Scenarier for regionale klimaforandringer i de nordiske lande og Grønland

v/ seniorrådgiver Jens Hesselbjerg Christensen, Danmarks Meteorologiske Institut

I forbindelse med et internationalt samarbejdsprojekt er der ved Danmarks Klimacenter udført detaljerede simuleringer af klimaændringer i Skandinavien med den regionale klimamodel HIR-HAM4. Denne model er udviklet ved DMI/Danmarks Klimacenter i samarbejde med Max-Planck-Institutet for Meteorologi i Hamburg (Christensen et al., 1996). Beregningerne er udført med betydeligt flere horisontale gitterpunkter, end der kan benyttes i globale klimamodeller for et område, der dækker hele Skandinavien. Afstanden mellem beregningspunkterne er således omkring 18 km, mens der benyttes værdier typisk omkring 300 km i de globale modeller.

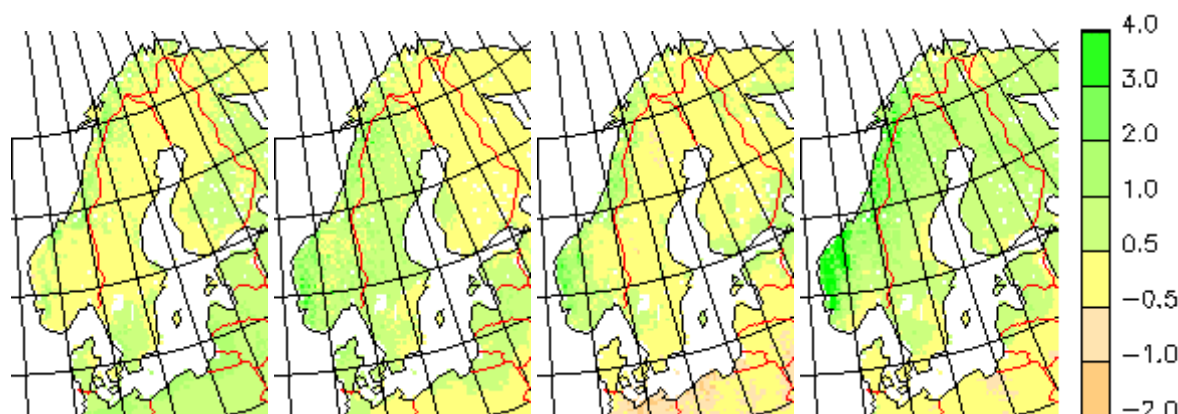
Simuleringerne indeholder derfor også detaljer og ekstremer på meget lille geografisk skala, der næppe kan anes i en GCM-simulering. Der er tale om såkaldte tidsudsnitsekspirer, hvor to 10-års simuleringer er blevet udført. Der er i begge perioder benyttet atmosfæriske randværdier og oceanbetingelser (havtemperaturer og havisudbredelse) fra en simulering med den relativt grovmaskede koblede model (ECHAM4(T42)/OPYC).

Den første 10-årsperiode i den detaljerede simulering svarer til det nuværende klima omkring 1990, og den anden svarer til ca. år 2075. Der er brugt de samme varierende koncentrationer af drivhusgasser i den detaljerede beregning som i den grove koblede modelberegning, der leverer rand- og oceanbetingelserne. Simuleringen tager ikke hensyn til et scenario for fremtidig fordeling af aerosoler i atmosfæren og er således udtryk for state-of-the-art omkring 1996 (se endvidere Machenhauer et al., 1998). Nye beregninger med effekten af aerosoler er planlagt i løbet af efteråret 2000.



Forskel i simuleret lufttemperatur ved jordoverfladen (grader Celsius) mellem klimaet omkring 2075 og klimaet i dag. Fra venstre mod højre: Vinter, forår, sommer og efterår.

De simulerede temperaturændringer over Skandinavien er vist herover. Der ses i almindelighed en opvarmning på omkring 3-4 grader. Denne ændring er ret jævnt fordelt over området, men med en tendens til stærkere opvarmning længst mod nord navnlig om vinteren. Den højere detaljegrad i den regionale simulering påvirker kun temperaturændringerne lidt; de er stadig ret ens over hele området. Men betragtes derimod forskellige parametre i vandbalancen, er der tydelige effekter af den høje opløsning. I GCM modellerne er de norske fjelde næsten ikke repræsenteret. Derfor regner det i de grovere modeller ikke nær nok i fjeldområderne i Norge, ligesom for meget nedbør falder på den anden side af fjeldene, således også over Danmark.



Forskel i simuleret nedbør (mm/dag) mellem klimaet omkring 2075 og klimaet i dag. Fra venstre mod højre: Vinter, forår, sommer og efterår.

På nedbørsfiguren herover vises forskellen i nedbør mellem de to perioder fordelt på de fire årstider. Det fremgår, at der sker en generel øgning i nedbørsmængden på alle årstider, dog med en lille tendens til noget tørre somre i den sydøstlige del af regionen. Det ses endvidere at den kraftigste ændring forekommer om efteråret over det vestlige Norge. Det bemærkes at de simulerede ændringer alle er relativt små (10 – 20%) sammenlignet med normalnedbøren. Resultaterne er i grove træk i overensstemmelse med, hvad man får fra de grovere globale simuleringer. De 10 år er dog desværre i underkanten til at give et tilstrækkeligt statistisk belæg for den beregnede ændring i nedbøren.

En nærmere analyse af de simulerede nedbørsforhold viser, at ændringerne ud over at gå i retning af et noget vådere klima, samtidig betyder en tendens til hyppigere forekomst af kraftig nedbør. Den generelle opvarmning, som forårsages af den øgede drivhuseffekt øger således temperatur såvel som nedbør.

Arktis herunder Grønland forventes at være meget følsom overfor en forøget drivhuseffekt, idet tilbagekoblings mekanismer i forbindelse med ændringer i isforhold og sneudbredelse vil forstærke en eventuel temperaturstigning. HIRHAM modellen er videre testet til at simulere Arktiske forhold (Rinke et al., 1999), og det er planen at foretage lignende beregninger som beskrevet ovenfor, men denne gang med modellen sat op over det Grønlandske område.

Referencer:

- Christensen, J.H., Christensen, O.B., Lopez, P., van Meijgaard, E. and Botzet, M. 1996: The HIRHAM4 Regional Atmospheric Climate Model; DMI Scientific Report **96-4**. DMI, Copenhagen.
- 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 simulations over Europe. MPI Report No. 275, Max-Planck-Institute, Hamburg.
- Rinke A., K. Dethloff and J.H. Christensen, 1999: Arctic winter climate and its interannual variations simulated by a regional climate model. *J. Geophys. Res.*, 104, 19027-19038.

Potential changes in extreme wind and precipitation events in a warmer climate

by Eigil Kaas, Danish Meteorological Institute

This presentation deals with potential climatic changes and variations in extreme wind events, mainly in the Atlantic - European region. Recent results regarding possible future change in the distribution of precipitation events will also be presented briefly.

First, a short, but critical, review of the reported observed climatic variations during the last hundred years or so is given. There has been some investigations reporting on dramatic increases in storm activity during the last 20-30 years, but it is argued here that such results are mainly based on the use so called inhomogeneous data, i.e. data affected by changing instrumental accuracy's, local environmental conditions, spatial and temporal data density, observational practices, and analysis routines. The balance of evidence suggests, however, that there has been some worsening of the storm climate in the NE Atlantic region since the 1970'es and that this change has been associated with certain moderate changes in the atmospheric flow on very large scales, often referred to as the North Atlantic and the Arctic Oscillation. The present level of storm activity seems comparable to that around 1900.

This is followed by a discussion of the basic physical mechanisms which are *related to* (not necessarily causing) regional changes in storm statistics: changes in north-south atmospheric temperature gradients, changes in the amounts of atmospheric water vapour, changes in static stability (i.e. the vertical structure of the atmosphere), and small shifts in the position of atmospheric high and low pressure systems on the largest horizontal scales (as e.g. the Icelandic low pressure area)

Concerning the impact of future global warming, coupled Ocean-Atmosphere Global Climate Models (O-A-GCM's) are widely accepted as the best tool available to estimate changes in the large and medium scale flow of the atmosphere. Thus, to simulate extra-tropical storms on relatively large horizontal scales the spatial details of modern O-A-GCM's seems adequate. However, to obtain climatic statistics for the most explosive and potentially damaging storms, much more refined models are needed. Due to limited computer resources O-A-GCM's can not yet be executed with such refinement and it has therefore become a kind of standard to perform downscalings, i.e. localised interpretations of the large scale flow simulated in O-A-GCMs. The methods used include:

- Global Time SLice simulations (G-TSL). This consists of simulations covering a considerable number of years with a high resolution Atmospheric Global Climate Model (A-GCM) which is forced with sea surface temperature and sea ice conditions simulated in the O-A-GCM simulations.
- Regional Time SLice simulations (R-TSL). These simulations are similar to G-TSL simulations but are performed at very high resolution and only over limited geographical domains. The lateral (vertical) boundary conditions are typically provided each 6 hours by the O-A-GCMs. Regional climate models are able to simulate the most intensive and small scale extra-tropical storms but they are generally not able to feed back on to the very large scale flow.
- Empirical downscaling (e.g. combined with so called weather generators). This method utilises present day observed statistical relationships between large scale atmospheric flow and small scale features. When e.g. the North Atlantic Oscillation for a given set of years is in its positive phase (lower than normal pressure near Iceland), it is well known that there are associated shifts in the storm activity in the North Atlantic region. The identified relationships are used to interpret the (large scale) flow in the O-A-GCMs. Empirical downscaling must be used with care, as

it assumes that the physical mechanisms linking large and small scale flow are unchanged in a changed climate.

"State of the art" O-A-GCMs simulate a decreasing north-south temperature gradient in the lower part of the troposphere in response to increasing greenhouse effect. This change is consistent with a reduction of the extra-tropical storm activity. At the same time many, but not all, simulations with O-A-GCM's show a general decrease of air-pressure in the arctic region in a warmer climate and an associated moderate eastward shift in the Atlantic storm activity on relatively large (resolved) scales. The implication is a somewhat enhanced storm activity in Northern Europe and a corresponding weakening at the entrance of the Atlantic storm track (near New Foundland). The possible explanations for these changes are discussed. The simulated shift is consistent with the observed trends during the last 20-30 years.

The most intensive and explosive extra-tropical cyclones are strongly influenced by release of latent heat in connection with condensation of water vapour. The effect tends to deepen the core pressure some 25-50% more than what would happen in the absence of moisture in the atmosphere. Furthermore, the effect of this release seems to be on small horizontal scales. As climate warms, the atmospheric ability to contain water vapour increases considerably and therefore the latent heat effect is expected to increase in the future. For the most intensive cyclones the process takes place on small scales that can not be simulated well in the O-A-GCM's and possibly even in the G-TSL simulations. This is an important reason for uncertainties in the estimates of the most likely change in extreme extra-tropical storm activity.

The increased so called hydrological cycle related to the increased availability of atmospheric water vapour in a warmer climate is expected to impact not only the behaviour of intensive winter storms in Europe. Also heavy rain/flooding events could become more vigorous according to mainly G-TSL and R-TSL simulations. Simulations with the Danish Climate Centre regional climate model run at 18 km horizontal resolution over Scandinavia have produced considerable increases in the number days with more than 10 mm of precipitation per day everywhere and there are several locations where the number more than doubles in the later part of the 21 Century. The number of days with little or no precipitation is relatively unchanged or even increased. The increase in number of days with heavy precipitation has a clear annual cycle with maximum increases in Autumn. The presentation will be based partly on results from the following two European projects of which the last is still ongoing:

WASA:

<http://w3g.gkss.de/G/Mitarbeiter/storch/wasa.html>

STOWASUS-2100:

<http://www.dmi.dk/pub/STOWASUS-2100/>

Konsekvenser af klimaændringer for landbrugsproduktionen i Europa

v/ Jørgen E. Olesen, Danmarks JordbrugsForskning og Marco Bindi, Dept. of Agronomy and Land Management, University of Florence

Indledning

Landbruget i Europa er i høj grad bestemt af EU's landbrugspolitik. Landbruget er imidlertid også påvirket af klimaet, både af de gennemsnitlige klimatiske betingelser og af udsvingene i klimaet. Klimaændringer forårsaget af den stigende drivhuseffekt vil påvirke betingelserne for landbrugsproduktion ikke blot i Europa, men på verdensplan (Reilly, 1996).

På det overordnede plan forventes klimaændringerne og opvarmning af jordkloden ikke at ville føre til en nedgang i den samlede fødevareproduktion, men til forskydninger mellem kontinenter og regioner. Modelberegninger viser, at en temperaturstigning er mere alvorlig for landbrugsproduktionen på lavere end på højere breddegrader (Rosenzweig og Parry, 1994). Dette vil stille Europa relativt gunstigt i sammenligning med række andre kontinenter. Der vil dog også ske forskydninger inden for Europa.

Både de klimatiske og politiske betingelser for landbrugsproduktionen varierer betydeligt i Europa. Landbrugsarealet i EU-15 landene udgør 135 mio ha, mod 60 mio ha i de 10 lande som søger optagelse i EU. Den landbrugsmæssige beskæftigelse udgør 7.5 mio i EU-15, og 10.3 mio i de ti ansøgerlande.

Klimatiske betingelser i Europa

I Nordeuropa er vækstsæsonen begrænset af længden den frost- og snefrie periode. Dette er hovedårsagen til de relativt lave kornudbytter i de Nordiske lande, og til det store areal med vedvarende græs (tabel 1).

Det fugtige og kølige klima langs Atlanterhavskysten og i bjergområderne begrænser udbytte og kvalitet i mange landbrugsafgrøder. Dette er hovedårsagen til det beskedne kornareal på de Britiske Øer og i de Alpine lande. Her dominerer vedvarende græsmarker.

I Middelhavslandene er kornudbyttet begrænset af mangel på vand, varmestress og en kort varighed af kernefyldningsperioden. Korn er derfor mindre dominerende i dette område, hvor permanente afgrøder (oliven, vin og frugttræer) udgør en relativ stor del af landbrugsarealet (tabel 1). Vanding er af stor betydning i mange Middelhavslande på grund af den store fordampning og begrænsede nedbør.

Det kontinentale klima i Østeuropa (fra det centrale Poland og østpå) giver generelt tørre betingelser og større temperaturudsving mellem sommer og vinter, hvilket begrænser dyrkningsmulighederne. De mest produktive områder i Europa med hensyn til både klima og jord ligger på den store europæiske slette, der strækker sig fra det Sydvestlige England gennem Frankrig, Benelux og Tyskland ind i Polen. Også i andre områder f.eks. den ungarske slette, er der meget favorable vilkår.

De lave hvedeudbytter i der nordlige og sydlige Europa kan tilskrives de klimatiske betingelser, hvorimod udbytterne i Østeuropa er betinget af en fejlagtig landbrugspolitik og dårlig driftsledelse (tabel 1).

Tabel 1. Arealanvendelse i forskellige regioner i Europa baseret på FAO's statistik fra 1994. Det gennemsnitlige hvedeudbytte er også vist.

Land	Landbrugsareal		Procent af landbrugsareal					Hvede udbytte (t/ha)
	mio. ha	% land	af Opdyrket	Korn	Perm. ¹	Vedv. græs	Vandet	
Nordiske lande	12.1	10	72	32	0	28	6	4.4
Britiske øer	21.4	69	34	15	0	66	1	6.5
Tyskland+Benelux	20.8	50	65	33	1	34	5	5.9
Alpine lande	5.1	42	36	20	2	62	1	5.5
Frankrig	30.0	55	61	27	4	35	5	6.5
Portugal+Spanien	34.8	59	51	21	15	34	12	2.4
Italien+Grækenland	24.9	59	45	22	16	39	16	4.5
Poland	18.7	61	76	45	2	22	1	2.6
Central Europa	12.8	59	73	42	5	22	4	4.1
Balkan	13.7	49	50	30	7	43	4	3.4
Bulgarien+Rumænien	23.4	63	65	40	5	30	18	2.8
Belarus+Baltikum	16.9	45	71	27	1	27	1	2.0

¹ Permanente afgrøder er afgrøder, der optager arealet i mange år, f.eks. blomstrende buske, frugttræer, nøddetræer og vin.

Mekanismer

De globale ændringer påvirker landbrugsproduktionen både direkte og indirekte. Den direkte påvirkning sker gennem stimulering af fotosyntesen ved højere CO₂ koncentration i atmosfæren. Den indirekte effekt er gennem klimaets påvirkning af afgrøder, sygdomme, skadedyr, ukrudt, omsætning i jord m.v.

Frem til år 2050 ventes en stigning i CO₂ koncentrationen fra de nuværende 370 ppm til 490-570 ppm, afhængig af udviklingen i verdensøkonomien og i politikken til begrænsning af CO₂ udledning. Dette vil i sig selv øge produktionen i de vigtigste landbrugsafgrøder, fordi planternes fotosyntese er begrænset af CO₂ koncentrationen. Frem til år 2050 forventes udbyttet i hvede således at stige 18-23 % alene som følge af stigningen i atmosfærens CO₂ indhold. CO₂ stigningen vil især være gavnlige under vandbegrænsede forhold som følge af mindre fordampning og større vandudnyttelse.

Afgrødernes respons på temperaturstigninger afhænger af, hvorvidt de er determinerede i deres udvikling eller ej. For determinerede afgrøder, hvis udvikling fra såning til høst er bestemt af temperatur og daglængde, vil stigende temperaturer i de fleste tilfælde betyde en nedgang i udbyttet. Det skyldes, at disse korn- og frøafgrøder med stigende temperatur får en kortere kernefyldningsperiode. Dette kan i en vis udstrækning kompenseres ved ændret sortvalg. I afgrøder til biomasseproduktion (græsmarksafgrøder, sukkerroer m.v.) vil en temperaturstigning i Nordeuropa føre til en længere vækstsæson og dermed til et højere produktionspotentiale.

Konsekvenser

En samlet modelberegning af effekten af stigningen i CO₂ og af klimaændringerne frem til år 2050 viser en udbyttestigning for hvede i de fleste områder i Europa, dog mest sikkert i Nord- og Vest-europa (tabel 2).

Tabel 2. Ændringer i vandbegrænset udbytte i hvede beregnet for forskellige klimascenarier frem til år 2050 (Downing et al., 2000).

Region	Hvede (t/ha)
Nord-Europa	0.7 - 3.0
Vest-Europa	0.5 - 2.8
Øst-Europa	-1.5 - 2.5
Syd-Europa	0.0 - 4.0

I Sydeuropa viser de fleste klimascenarier en betydelig stigning i sommertemperaturen og et samtidigt fald i nedbørmængden. Dette vil forstærke den vandmangel, der allerede forekommer i visse områder. Det må forventes, at den vandmængde, der er til rådighed for vanding vil blive væsentligt reduceret på grund af konkurrencen fra andre vandforbrugende sektorer. Dette vil formentlig føre til drastiske ændringer i landbrugsstrukturen i Middelhavslandene.

I de nordlige regioner af Europa vil klimaændringer og stigning i CO₂ koncentrationen indebære en række fordele, bl.a.

- Mulighed for introduktion af nye afgrøder og dermed et bredere udbud af dyrkbare afgrøder
- Højere produktivitet
- Mulighed for udvidelse af dyrkningsarealet, især i meget nordlige områder, hvor klimaet nu er helt begrænsende for plantevækst

Der er dog også knyttet en række ulemper til især de forventede klimaændringer, bl.a.

- Øget behov for plantebeskyttelse mod ukrudt, sygdomme og skadedyr
- Øget risiko for kvælstofudvaskning
- Øget nedbrydning af jordens organiske stof og dermed risiko for reduktion af jordkvaliteten

I de sydlige regioner vil ulemperne dominere og bl.a. omfatte

- Lavere produktivitet i en række afgrøder og muligvis også lavere kvalitet i visse afgrøder
- Højere udbyttevariabilitet
- Reduktion af arealet med traditionelle afgrøder

Tilpasningsmuligheder

Der findes en lang række muligheder for at tilpasse landbrugets driftsformer til klimaændringer. De umiddelbare justeringer omfatter ændringer i sorter og såtider, ændringer i anvendelse af gødning og pesticider samt øget anvendelse af dyrkningsforanstaltninger, som bevarer jordfugtigheden. De langsigtede ændringer omfatter ændringer i arealanvendelse, introduktion af nye arter og sorter, samt ændringer af bedriftsstrukturen. De fleste studier har vist, at mange af de negative følger af klimaændringer kan begrænses betydeligt gennem disse tilpasninger.

Effekten af justering af såtiden er illustreret for vinterhvede i Danmark i figur 1. Der er betydelig forskel på udbytniveauet afhængig af jordtypen. Responsen på temperaturændringer afhænger dog også af jordtype. Udbyttereduktionen ved stigende temperatur er således størst på lerjorderne. Der er dog en endnu større effekt af ændringer i såtiden. Med stigende temperatur bliver den optimale såtid senere og senere. Effekten for vinterhvede i Danmark er dog først markant ved temperaturstigninger over 3 °C.

Figur 1. Effekt af temperaturændring på gennemsnitligt modelberegnet kerneudbytte i vinterhvede i Danmark. Beregningerne er foretaget for en sandjord (cirkler) og en lerjord (trekanter) og for uændret såtid (åbne symboler) og for optimal såtid (fyldte symboler) (Olesen et al., 2000).

Usikkerheder

Det er væsentligt at understrege, at de mulige udbytteændringer (tabel 2) ikke må tages som prognoser. Det skyldes at der er væsentlige usikkerheder knyttet til både udviklingen i klimaet, men ikke mindst i de fremtidige politiske, markedsmæssige og teknologiske vilkår for landbrugsproduktion. De sidste forhold vil også i fremtiden have større betydning for landbruget end klimaændringer i størstedelen af Europa.

Der er således et betydeligt potentiale for øget produktion i Østeuropa, som er uafhængigt af klimaændringerne. Generelt må klimaændringerne dog forventes at ville styrke Europas position og betydning som leverandør af fødevarer til hele verden.

Der er gennem forskningen over de sidste ti år opnået en god forståelse af de enkelte afgrøders respons på både ændringer i CO₂ koncentrationen og i klimaet. Der er dog endnu for ringe viden om de sekundære effekter, som opstår gennem vekselvirkninger med husdyr, omsætning i jord, samt sygdomme, skadedyr og ukrudt. Endvidere mangler der analyser af effekterne på nogle af de traditionelle produktionsformer i Europa og på samspillet mellem landbruget og tilgrænsende sektorer.

Referencer

- Reilly, J. (1996). Agriculture in a changing climate: Impacts and adaptation. I R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss & D.J. Dokken (eds.): Climate change 1995 – Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses. s. 429-467.
- Rosenzweig, C. & Parry, M.L. (1994). Potential impact of climate change on world food supply. Nature 367, 133-138.
- Downing, T.E., Harrison, R.E., Butterfield, R.E. & Lonsdale, K.G. (2000). Climate change, climate variability and agriculture in Europe: An integrated assessment. Research Report No. 21, Environmental Change Unit, University of Oxford (in press).
- Olesen, J.E., Jensen, T. & Petersen, J. (2000). Sensitivity of field-scale winter wheat production in Denmark to climate variability and climate change. Climate Research (in press).

Om CO₂ balancen i danske landbrugsområder og dens følsomhed over for ændringer i temperaturen

v/ Henrik Søgaard, Geografisk Institut, Københavns Universitet

På landbrugets forsøgsområde ved Foulum i Jylland er der over en to-årig periode foretaget løbende målinger af kuldioxidudvekslingen mellem landoverfladen og atmosfæren. Målingerne, der er foretaget med eddy korrelation-teknik, er dels foretaget over specifikke marker og dels som integrerende målinger over et helt landbrugsområde.

Ved at kombinere en mekanistisk fotosyntesemodel med en jordrespirationsmodel viser det sig muligt at simulere kuldioxid fluxen med en rimelig nøjagtighed. For en udvalgt vinterhvede mark fokuseres på de faktorer, der er bestemmende for CO₂ assimilationen igennem vækstsæsonen. Blandt de klimatiske faktorer viser det sig, at specielt indstrålingen og bladtemperaturen af stor betydning, mens blad areal indekset og rubisco kapaciteten der er af størst betydning blandt planteparametrene når det gælder modellering af CO₂-fluxen. Det diskuteres hvordan resultaterne kan opskaleres til landskabsniveau ved brug af satellitdata, og hvordan årsbudgettet kan opstilles ved at kombinere afgrødemålingerne med vinter flux-målinger foretaget fra en høj mast, der integrerer over hele landskabet.

På basis af den kalibrerede CO₂ model simuleres det hvordan CO₂ balancen vil være afhængig af temperaturen i relation til globale opvarmningsscenarier.

Socio-economic consequences of greenhouse warming

by Bent Sørensen, Roskilde University

In a project performed for the Danish Energy Agency (Sørensen, Kuemmel and Meibom, 1999), four global energy supply scenarios with zero greenhouse gas emissions have been constructed, based upon a common energy supply scenario. The supply scenario is constructed by a bottom-up approach, considering basic and secondary needs, development of social organisation and activities, region by region, and finally considering population growth and settlement patterns to the scenario year, 2050. The efficiency of energy conversions is assumed by 2050 to average the best efficiency in or close to the market today. Efficiency improvement is here meant to include the introduction of new technology to perform a task in a way different from the one used earlier, as well as straight improvements in the energy efficiency of a given piece of technology.

The supply scenarios comprise use of fossil fuels without carbon dioxide emissions to the atmosphere, using nuclear conversion techniques without risk of catastrophic accidents or proliferation of nuclear material, and renewable energy sources either in a purely decentralised mode, or with inclusion of some windfarms, central solar collector fields, and energy crops (although the need for such "centralised" facilities is far lower than the resources available).

1. ENERGY END USE

Several demand scenarios have been constructed for the 21st century, based either on extrapolation ("business-as-usual" scenarios) or on technically feasible, normative assumptions about the development of societies. In a greenhouse warming mitigation context, the interesting demand scenarios are those which aim at reducing emissions at a lower cost than that of supply-side measures (fuel shifts or transition to energy sources not emitting greenhouse gases). Studies have identified a number of measures not undertaken although they have no significant cost (Sørensen, 1982; 1991). The reason is inertia or opposition to "reductions" in energy use, seen as negative in the context of economic growth. As a result, measures at the supply side have been financed, that entail a higher cost per energy unit than that of suitable demand-side measures. One aim of greenhouse policies could be to change this attitude, e.g. by legislative means (such as building codes, standards for appliances, cars etc.) or by taxation (differential tax on cars and other equipment according to energy efficiency). Both types of policy means are in use in a few countries.

As an example of a demand scenario placing emphasis on demand-side measures, a bottom-up analysis based upon a vision of future global societies with high levels of prosperity will be discussed (Sørensen et al., 1999). It will be underlying the global supply scenarios to be further discussed in section 2. The assumption is, that by the mid 21st century, the average technology in use will equal the best current technology, with respect to energy efficiency. This is compounded with increasing population (using middle scenario of UN, 1996), increasing urbanisation (according to UN, 1997), and increased per capita activity level by an average factor 2.7 for energy use. The GNP activity growth factor will be larger due to the de-coupling of economic and energy growth, and the distribution between regions will not be even (because a larger growth rate is assumed for the presently poor regions).

Figure 1 shows the total energy delivered to the end-users in the 2050 scenario, including energy for space conditioning, process heat, stationary mechanical energy, electric energy, energy for trans-

portation and energy in food, for all sectors of society. The average and totals for different regions are shown in Table 1, for each major energy type. The average energy demand is 0.9 W/cap. or three times the amount made useful at the end-user today. The energy made useful at the end-user today is only about 12% of the primary energy, and the challenge is to increase this fraction in the future (Sørensen et al., 1999).

In terms of full satisfaction of all primary and secondary human goals, the demand scenario assumes that for regions 1 and 2 of Table 1, there is nearly 100% goal satisfaction, for regions 3-5 some 2/3 of full goal satisfaction, and for region 6 a satisfaction level of 1/5. These levels are significantly higher than the ones characterising regions 3-6 at present, as the detailed analysis of Sørensen et al. (1999) shows.

Table 1. Energy delivered to end-user in 2050 scenario (from Sørensen et al., 1999).

Regions: / Energy quality:	1. United States, Canada	2. W. Eu- rope, Ja- pan, Aus- tralia	3. E. Eu- rope, Ex- Soviet, Mid. East	4. Latin America, SE Asian "tigers"	5. China, rest of Asia	6. Africa	Average / Total
Food based on animals	30 45 17	30 45 24	30 45 47	25 37 52	25 37 148	20 25 51	23 % 36 W/cap. 339 GW
Food based on grain & vegetables	70 119 45	70 119 63	70 119 124	75 128 177	75 128 506	80 114 232	77 % 123 W/cap. 1148 GW
Gross trans- portation en- ergy	359 136	299 158	140 146	201 277	99 392	30 61	125 W/cap. 1170 GW
Heat pump input for low-T heat and cooling	103 39	110 58	87 90	43 60	80 318	22 45	65 W/cap. 610 GW
Environment al heat	240 91	256 135	203 210	100 140	186 741	51 105	151 W/cap. 1421 GW
Direct elec- tric and all other energy	420 153	424 224	245 255	288 398	283 1116	47 96	240 W/cap. 2242 GW
Total deliv- ered en- ergy*	1272 482	1252 661	838 871	800 1104	814 3225	290 591	742W/cap. 6934 GW
Population 2050	379	528	1040	1380	3960	2040	9340 millions

* Including heat drawn from the environment by heat pumps.

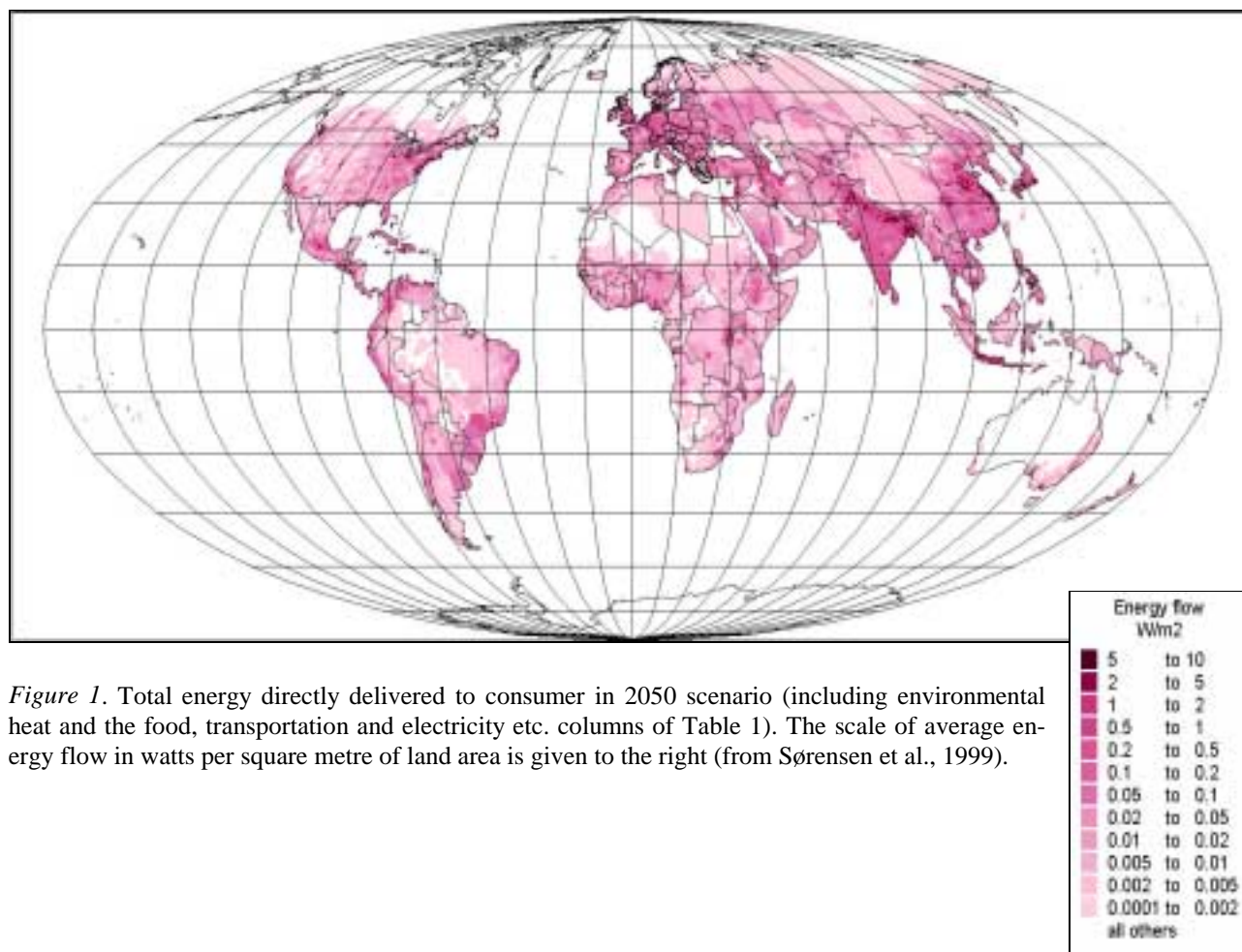


Figure 1. Total energy directly delivered to consumer in 2050 scenario (including environmental heat and the food, transportation and electricity etc. columns of Table 1). The scale of average energy flow in watts per square metre of land area is given to the right (from Sørensen et al., 1999).

2. GLOBAL ISSUES

A number of issues speak against merely optimising energy supply systems on a national or regional basis. These have to do with the cost and supply security implications of creating for some countries a dependence on resources that have to be imported from far away, but also with the desirability of preserving levels of international trade to which the economy of the currently exporting countries have become dependent.

In this chapter the distribution of different forms of energy resources are first briefly reviewed, with the purpose of identifying the possible mismatch between supply and demand on a geographical basis. Different scenarios for future energy supply systems addressing the greenhouse warming issue are then analysed with respect to their requirements for energy transmission and energy trade, with emphasis on whether the problem is local, regional or global. Finally some conclusions of possible economic and political relevance are drawn.

2.1 UNEVEN DISTRIBUTIONS OF RESOURCES

The main resources of interest for use in the energy sector, from a greenhouse impact mitigation point of view, are fossil fuels (which may be transformed to hydrogen or used with CO₂ capture),

nuclear fuels and renewable energy sources. The geographical distribution of these energy sources is illustrated in Figures 2-3. In case of fuels derived from mineral deposits, the total estimated resources are given, defined as resources that are reasonable certain but independent of the cost of extraction (for specification on economic reserves of different sub-categories, additional and unconventional resources see Sørensen et al., 1999). For the renewable energy sources, land use constraints and consideration of alternative site uses and environmental impacts have reduced the estimate to an operational level.

It is seen that the nuclear and fossil resources are most unevenly distributed. The renewable energy resources are much more evenly accessible, although there are distinct variations with latitude (solar radiation) and absence of obstacles (wind power). For biomass resources, limiting factors include solar radiation, nutrients, water and soil quality.

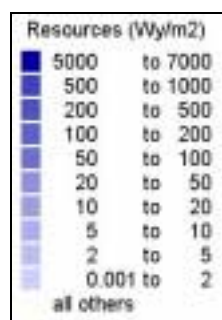
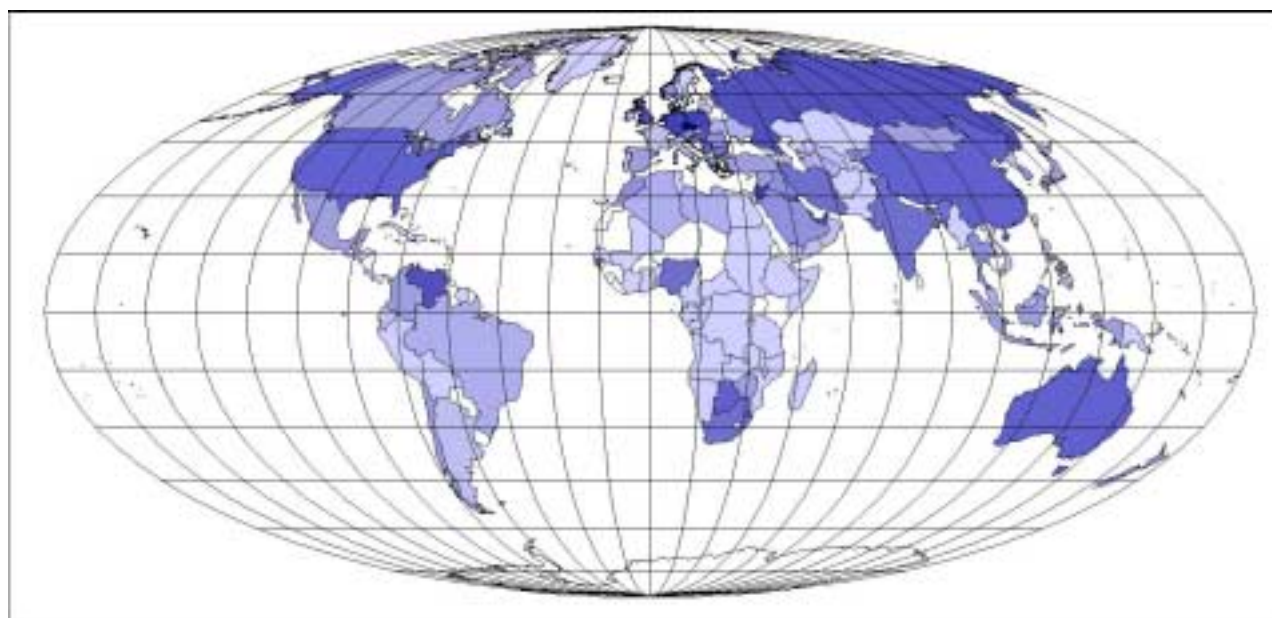
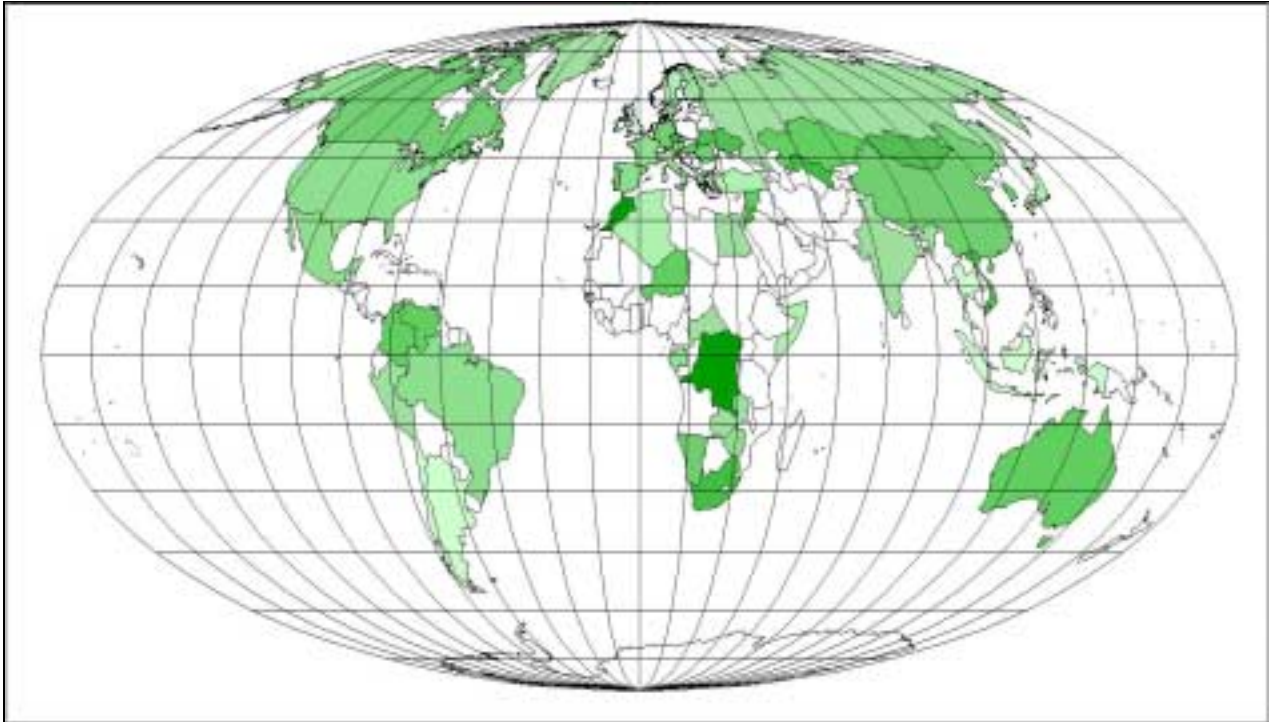


Figure 2. National distribution of fossil resources in place. Included are bituminous and sub-bituminous coal and lignite, natural gas and natural gas liquids, and oil (for off-shore resources attributed to the country of ownership). The scale given to the left uses the average number of watt-years held by each square metre of surface area (from Sørensen et al., 1999, where the distribution on individual resources and the individual graphs of reserves, possible reserves and the resource base can also be found).

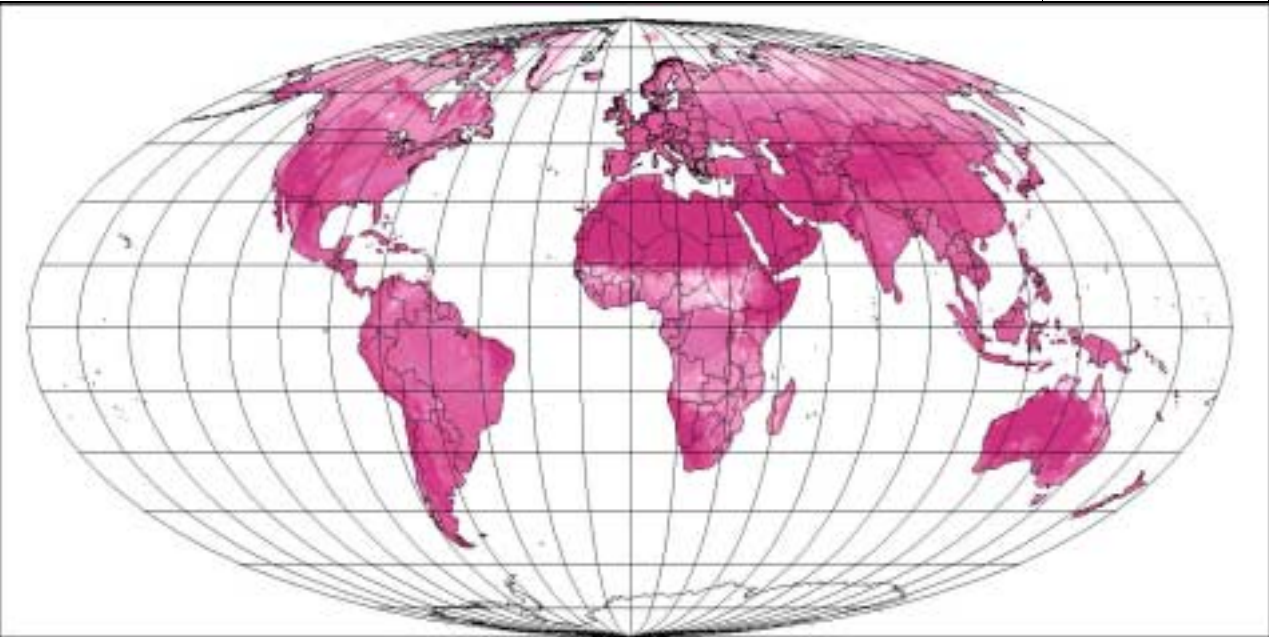


Nuclear resources (kg/m ²)	
Dark Green	0.01 to 0.02
Medium-Dark Green	0.001 to 0.002
Medium Green	0.0005 to 0.001
Light Green	0.0002 to 0.0005
Very Light Green	0.0001 to 0.0002
Lightest Green	5e-005 to 0.0001
White	2e-005 to 5e-005
White	0 to 1e-005

Figure 3 (above). Total estimated national uranium resources, given as average kilotons of uranium oxide per square metre (scale left). A similar amount of Thorium resources may be in place, but estimates are much more uncertain (from Sørensen et al., 1999, where also the distribution on categories of resources are available).

Energy flow W/m ²	
Dark Pink	5 to 10
Dark Pink	2 to 5
Dark Pink	1 to 2
Dark Pink	0.5 to 1
Dark Pink	0.2 to 0.5
Dark Pink	0.1 to 0.2
Dark Pink	0.05 to 0.1
Dark Pink	0.02 to 0.05
Dark Pink	0.01 to 0.02
Dark Pink	0.005 to 0.01
Dark Pink	0.002 to 0.005
Dark Pink	0.0001 to 0.002
Dark Pink	all others

Figure 4 (below). Estimated total renewable energy resources, taking into account land restrictions due to alternative uses and for environmental reasons, as well as conversion losses. The sources include solar photovoltaic, wind, hydro, all for electricity, and biomass for fuels and food, given in units of energy flow (watts per square metre, scale to the right). From Sørensen et al. (1999), where details of the individual resource estimates can also be found.



2.2 SCENARIOS WITH GLOBAL OUTLOOK

Of the many energy scenarios available (see IPCC Open process, 1998), only a few are truly global scenarios addressing greenhouse mitigation issues. The recent global scenarios for the mid-21st century by Sørensen et al. (1999) specifically uses a geographical information system to display surpluses and deficits of supply over demand on an area basis (i.e. per km²). This is particularly relevant for determining transmission and trade requirements, and this study will therefore be used in the discussion below.

The set of four emission-free energy supply scenarios are based on a common energy demand scenario, described above in section 1. In this way the four different supply options selected (clean fossil, safe nuclear, decentralised and centralised renewable energy) can be compared on a common basis. This of course does not mean that the actual future energy system may not be a combination of the options. The scenarios are briefly characterised as follows:

1. *The clean fossil scenario*, with new fuel cycles avoiding or retaining greenhouse gases for deposition or other uses not leading to atmospheric release.
2. *The safe nuclear scenario*, with new fuel cycles minimising proliferation possibilities and risks of large accidents, and aiming at delivering energy for other energy use sectors besides that of electric energy, without long-term waste storage.
3. *The decentralised renewable energy scenario*, based upon building-integrated solar systems and dispersed installations for utilising wind and biomass energy, the latter being based on integrated production of food, energy and bio-feedstock for industry.
4. *The centralised renewable energy scenario*, placing additional solar collectors or wind turbines in areas of non-arable land, or off-shore in large farms. The scenario includes a cautious use of biomass plantations placed on land where competition with food production is considered minimal.

All four scenarios are found to be technically feasible and fulfilling the requirement of no net greenhouse gas emissions. However, particularly the safe nuclear and the ocean CO₂-disposal technologies, but also to some degree photovoltaic and biomass gasification technologies, are still in an early development stage, where prices cannot be predicted accurately, and where in the first two cases, environmental impacts cannot be fully assessed at the present time.

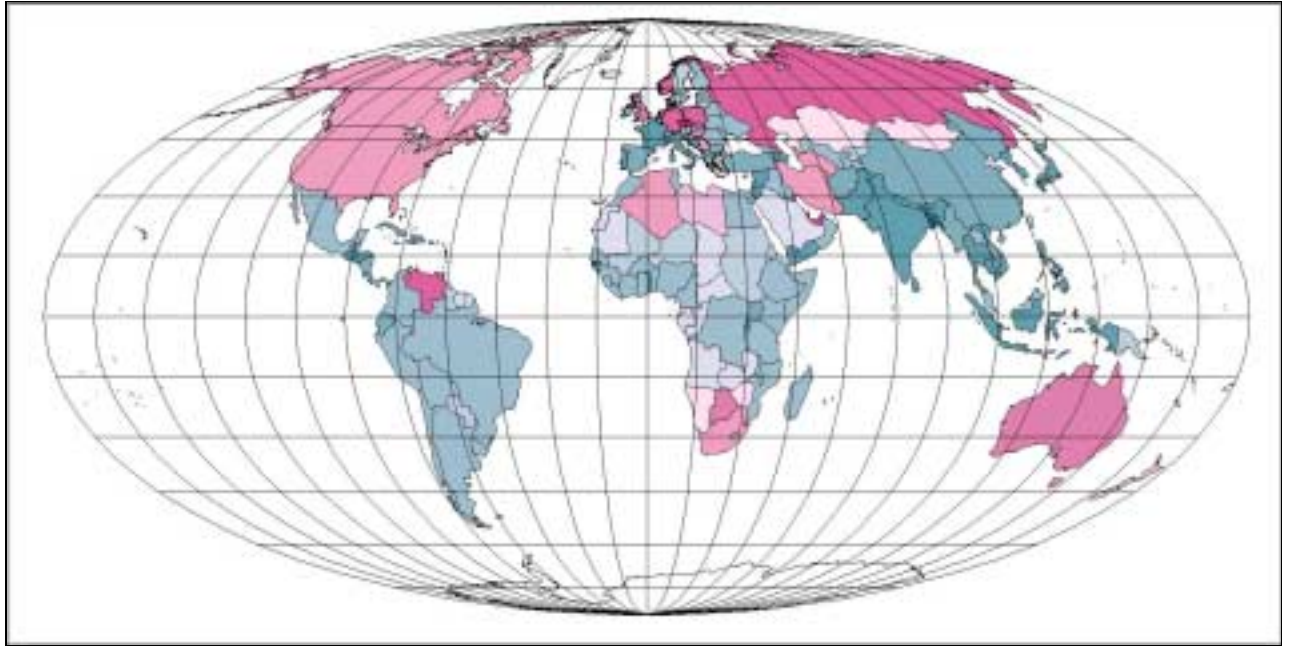
Figures 5-8 shows the distribution of mismatch between supply and demand for the four scenarios. It is seen that for the clean fossil and safe nuclear scenarios, the countries of the world have been sharply divided into energy-exporting and energy-importing countries. The level of energy trade for the two scenarios cannot be directly compared, as the nuclear scenario values are in kilos and not energy units (due to uncertainty in future conversion efficiency). In these two scenarios, food energy is not included in the Figures, because there is no food-energy competition for land resources to resolve, as in the case of the renewable scenarios. The countries in greatest need of energy import are those with the highest population densities, having implications for the model of economic development. Because of the distance between energy surplus and energy deficit regions, there is little room for equalisation by direct transmission (of electricity, gas or heat), and energy trade will mostly have to be by ship transport over intercontinental distances (as today). The nature of the resources in these two scenarios makes the issue of local transport less interesting.

For the two renewable energy scenarios, the surpluses or deficits are much less, and even in densely populated areas such as India or China, there are areas of surplus. The deficits are of course found in highly urban areas, where high-rise buildings make the surfaces suitable for solar collectors small

compared with the demand, and where wind power and biomass production is not possible. In most cases, this implies a need only for local transport or transmission of energy, from cultivated country areas or marginal land to the cities or particularly population- or energy-intensive regions, usually of modest dimensions.

Upon closer inspection of the forms of energy required, it is seen that even for the projected population increase, food supply is adequate in all parts of the world, leading only to the well-known land to city transfer, also for countries such as India and China. This is due to the scenario assumptions on improved agricultural techniques, consistent with assumptions of technological and economic growth in all parts of the world, and despite the slight decrease in yields implied by an assumed high proportion of ecologically grown food. For (bio-)fuels to be used in the transportation sector, there is a significant deficit in most of Europe, the Middle East and India, to be matched with surpluses in China, South-East Asia, Northern countries of South America and Northern countries of Asia, Europe and North America. This implies that biofuels have to be traded internationally, which is feasible as they can be transported much like oil.

For electricity, there are strong deficits in urban areas and in much of Central Europe, India and Eastern China, whereas surpluses occur in the rest of the world and for the decentralised renewable energy scenario particularly in South America. This makes the required trade in the decentralised scenario nearly impossible, unless some intercontinental electricity transmission technologies emerge. Transformation of surplus electricity to portable fuels would solve the problem, but there are barely enough decentralised resources to allow for the losses. By contrast, the centralised renewable energy scenario has additional resources from agricultural and marginal land, making trade in the form of biofuels or electricity for more modest transmission distances capable of graciously solving the problem.



Supply minus demand (W/m²)

0.1	to	0.5
0.05	to	0.1
0.01	to	0.05
0.005	to	0.01
0.0001	to	0.005
-0.005	to	-0.0001
-0.01	to	-0.005
-0.05	to	-0.01
-0.1	to	-0.05
-0.5	to	-0.1
-1	to	-0.5
-2	to	-1
-10	to	-2
all others		

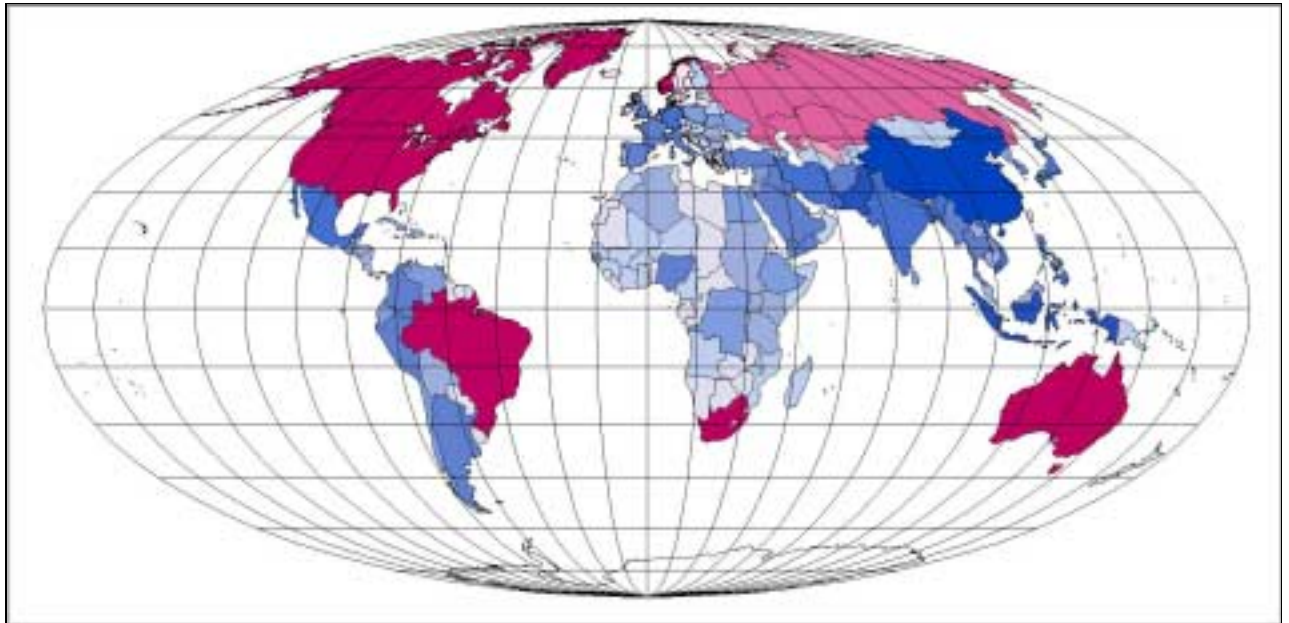
Figure 5. Difference between national average supply and demand, for the clean fossil 2050 scenario, transforming fossil fuels to hydrogen or removing CO₂ from the flue gases, and depositing the CO₂ at ocean floors (scale in W/m² country averages is given to the left).

Figure 6. Difference between national average supply and demand, for the safe nuclear scenario, where thorium is fissioned in a sub-critical reactor by fast neutrons delivered by a particle accelerator (scale in kg thorium oxide per year per country is given to the right).

Both Figures are from Sørensen et al. (1999).

Surplus/deficit of Th in country (kt/y)

0.2	to	1
0.1	to	0.2
0.02	to	0.05
0.005	to	0.01
-0.002	to	-1e-008
-0.005	to	-0.002
-0.01	to	-0.005
-0.02	to	-0.01
-0.05	to	-0.02
-0.1	to	-0.05
-0.2	to	-0.1
-1	to	-0.2



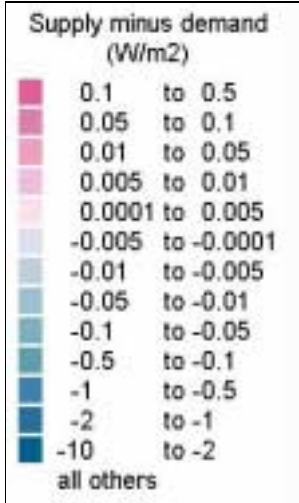
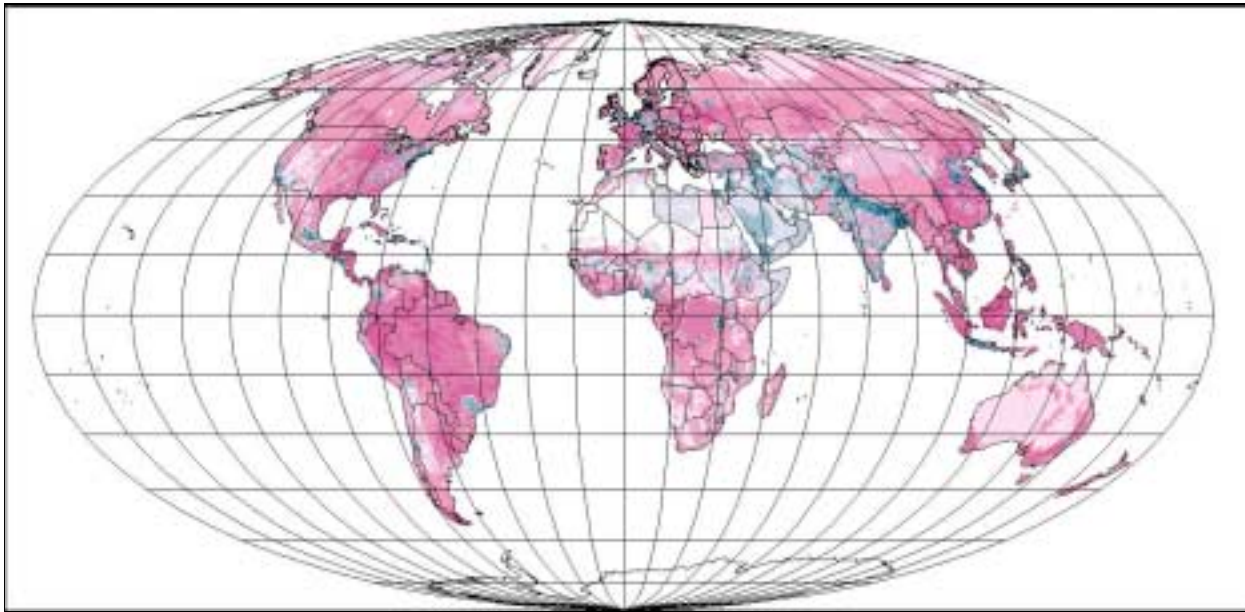
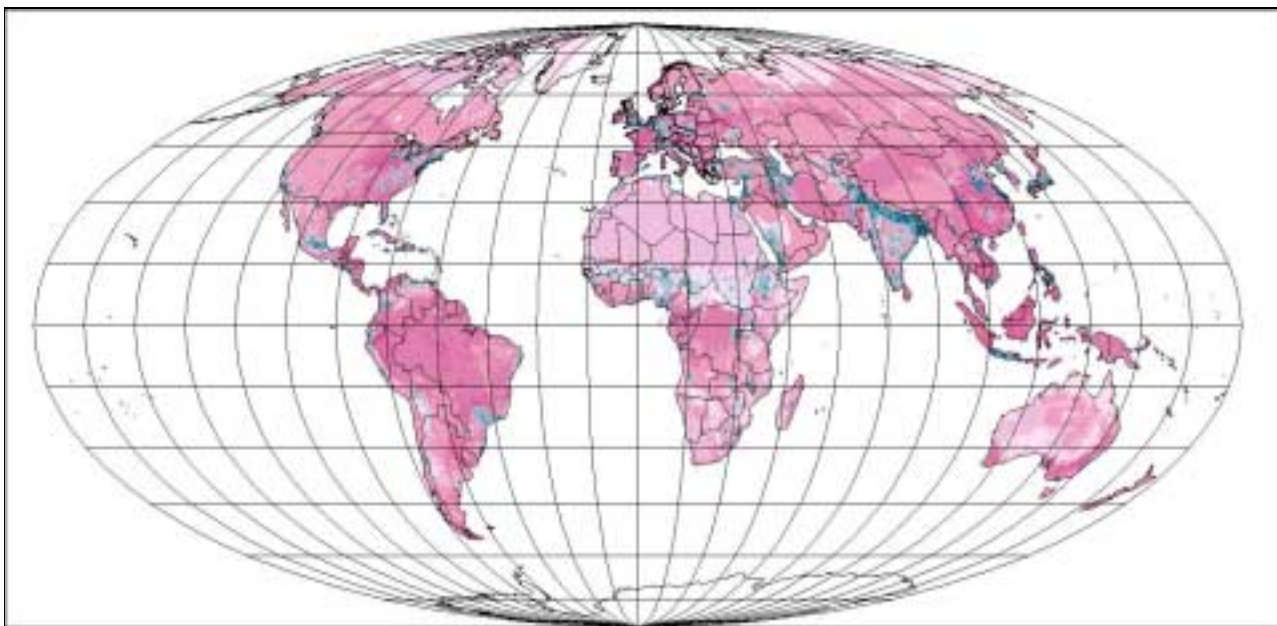


Figure 7 (above). Difference between supply and demand, for the decentralised renewable energy 2050 scenario, using only building-integrated solar cells and farm-attached wind turbines, together with pesticide-free agriculture and bio-energy production only from agricultural and forestry residues, plus existing hydro power. The delivered energy supply comprises food, electricity and biofuels for stationary and transportation uses (in contrast to Figs. 5 and 6, where food energy was not included). Scale in W/m² is given to the left (from Sørensen et al., 1999).

Figure 8 (below). Difference between supply and demand, for the centralised renewable energy 2050 scenario, using building-integrated and centralised solar cells on marginal land, wind turbines near farms and in parks on marginal land or off-shore, together with pesticide-free agriculture and bio-energy production from residues and a limited number of energy-crops or energy-forests, plus hydro power in place or under construction. The delivered energy supply comprises food, electricity and biofuels for stationary and transportation uses. Scale in W/m² is given to the left (from Sørensen et al., 1999).



2.3 IMPLICATIONS FOR TRADE AND TRANSMISSION OF ENERGY

The scenarios for clean fossil and safe nuclear energy supply entail trade and transmission of energy much in the same pattern as today. This does have implications for economic development for as well the exporting as the importing countries, where the latter may experience a slower economic growth than the one obtained with a scenario of higher self-sufficiency in energy supply.

Regarding the scenarios based on renewable energy flows of fairly low energy density, it is found that the decentralised scenario works well in some regions but on a global average basis (with the restrictions posed by renewable resources available locally and consistent with the decentralisation paradigm), it barely matches the demand of the 2050 population with the assumed massively improved living standards. This implies that the scenario requires import of energy by countries such as e.g. India, and as surpluses exist mainly in South America and is dominantly in the form of electricity, the transfer will be difficult, and seemingly in contradiction with the "local self-sufficiency" idea behind the decentralised scenario.

By contrast, the scenario adding a certain amount of centrally produced renewable energy exhibits supply in generous excess of demand, and trade of energy between regions will allow the system to be very robust against changes in assumptions such as demand development and area use. For example, desert regions in North Africa and the Middle East can export photovoltaic electric power to Europe and thereby create a basis for continued economic development without resort to oil.

2.4 ECONOMY AND POLICY OPTIONS

While the positive economic implications of adopting the energy demand scenario with high emphasis on energy efficiency is evident, the economic aspects of the supply scenarios cannot be stated with certainty. For the clean fossil scenario, the cost of CO₂ capture and hydrogen production has not been established on a realistic scale, and neither has the cost of ocean disposal of the CO₂ extracted. While these technologies are believed to be feasible, there are environmental risks associated with deposited CO₂ penetrating the biosphere, that require further studies (see references quoted in Sørensen et al., 1999). The final energy cost is believed to be 2-3 times the present, which may be acceptable in view of the externality costs of greenhouse gas emissions for the current type of energy system (Kuemmel et al., 1997).

The safe nuclear scenario is based on new nuclear conversion technologies proposed by C. Rubbia (1994). The substantial development required has so far not received the necessary support (see the discussion in Sørensen et al., 1999), and is therefore unlikely to be available in time to play a role in mitigating greenhouse impacts.

The renewable energy technologies comprise hydro and wind power, which are largely economic today, biofuel technologies currently about two times more expensive than the current sources, and photovoltaic technologies currently more than ten times more expensive than conventional coal-fired power supply. Even considering externality costs, it is therefore clear that a cost reduction is needed, and projections suggest that such a cost reduction for photovoltaic power is indeed possible and forthcoming with continued market development support. From many points of view, including (resource) sustainability and environmental acceptance, the renewable energy scenarios are the most

appealing ones. The discussion in Sørensen et al. (1999) implies that the paradigm of extreme decentralisation (local or even individual control over energy supply) is not stable (e.g. towards variability between years of renewable resources) and that it requires international trade and transmission of energy of a size difficult to reconcile with the local self-sufficiency idea. The conclusion of this is that only the centralised renewable energy scenario offers a feasible sustainable energy supply system for the long-term future, and that it is indeed very likely to become feasible in the near future, adding a modest amount of centralised wind and photovoltaic energy (wind-farms on-shore and off-shore, solar cell farms), plus a modest amount of biomass crops grown for biofuels, to the decentralised renewable energy systems. It is therefore imperative, that policy measures (e.g. liberalisation of electricity trade) do not obstruct this development.

REFERENCES

- IPCC Open process (1998). Special report on emissions scenarios, CIESIN website: <http://sres.ciesin.org/sres/htmls/sres.html>
- Kuemmel, B., Nielsen, S. and Sørensen, B. (1997). *Life-cycle analysis of energy systems*. Roskilde University Press, Copenhagen, 216 pp. (cf. website <http://mmf.ruc.dk/energy>)
- Rubbia, C. (1994). The energy amplifier. pp. 115-123 in "Proc. 8th Journées Saturne, Saclay" (unpublished report)
- Sørensen, B. (1982). Energy choices: Optimal path between efficiency and cost. pp. 279-286 in "Energy, resources and environment" (S. Yuan, ed.), Pergamon Press, New York.
- Sørensen, B. (1991). Energy conservation and efficiency measures in other countries. Australian Department of the arts, sport, the environment, tourism and territories, *Greenhouse Studies No. 8*. Commonwealth of Australia, Canberra.
- Sørensen, B. (1999). *Renewable Energy*, Academic Press, London (1st ed., 1979; 2nd ed. to appear late 1999 or 2000)
- Sørensen, B., Kuemmel, B. and Meibom, P. (1999). Long-term scenarios for global energy demand and supply: Four global greenhouse mitigation scenarios. *IMFUFU Texts No. 359*, Roskilde University Institute 2.
- UN (1996). Populations 1989, 2015, 2050. United Nations Population Division and UNDP, Washington.
- UN (1997). Urban and rural population estimates and projections as revised in 1994. United Nations Population Division and UNDP, Washington.

Effekter af klimaforandringer på naturlige økosystemer: Hede som eksperimentelt modelsystem

v/ Per Gundersen, Forskningscenter for Skov og Landskab

Projektet har til *formål* at undersøge effekten af ændrede klimaforhold (stigende temperatur og tørke) på planteproduktion og konkurrence, omsætnings-processerne i jorden, udvaskning af C og N samt emission af sporgasser. Dette med henblik på at belyse ændringer i økosystemets og evt. feedback mekanismer på atmosfæren. Ved felt-manipulation med opvarmning og tørke på økosystemniveau undersøges fx:

- om ændringer i klimaet vil føre til øget respiratoriske emission af CO₂, eller om der sker en akklimatisering til de nye klimaforhold, eller om det CO₂-tabet udlignes ved øget planteproduktion.
- om der sker ændringer af omsætningsforholdene for organisk stof og dermed øget udvaskning eller kan planterne nå at optage frigivet kvælstof.

Projektet er et EU-projekt med parallelle aktiviteter i Holland, Wales og N. Spanien

Forsøgene bliver udført på hede/overdrev Mols Bjerge. Udgangsmaterialet er grovsandet næringsfattig moræne med lav pH. Klimaet er karakteriseret ved relativt høj temperatur og lav nedbør (550 mm). Vegetationen er en blanding af hedelyng (*Calluna vulgaris*) og bølget bunke (*Deschampsia Flexuosa*). Arealet har været græsset i en periode indtil for 8 år siden.

Automatisk styrede 'gardiner' til opvarmning og tørke. A: Control-opstilling uden opvarmning. B: Passiv opvarmning ved automatisk overdækning af vegetationen om natten. C. Tørke-felt – automatisk overdækning af vegetationen under nedbør 6-8 uger over sommeren.

Effekterne af øget temperatur og længerevarende tørke undersøges ved manipulation af økosystemet på økosystemniveau. Tre blokke med 3 behandlingsfelter (opvarmning, sommertørke og kontrol - 4x5 meter pr felt) er udlagt på en syd- og østvendt skråning. Behandlingerne er:

- **Opvarmning:** Vegetationen overdækkes om natten med "rullegardiner" monteret med alufolie. Alufolien reflekterer IR strålingen, hvorved luften og det øverste jordlag opvarmes. Opvarmningen har været iværksat siden marts 1999 og målingerne viser, at vi kan forvente en opvarmning på 1-2° C afhængig af vindforhold og lufttemperatur. Rullegardinerne fjernes i tilfælde af regn, så den hydrologiske balance ikke forstyrres. Funktionen af rullegardinerne styres automatisk af lys og regn.
- **Sommertørke:** I en 1-2 måneders periode hver sommer overdækkes vegetationen i tilfælde af nedbør med tilsvarende "rullegardiner" monteret med plast. Tørkegardinerne rulles automatisk fra igen, når nedbøren ophører, så sollys, vind, og temperaturforhold påvirkes mindst muligt. Den samlede tørkeperiodes længde styres af vandindholdet i jorden.
- **Kontrol:** Effekten af opvarmning og tørke vurderes ved sammenligning med umanipulerede kontrolfelter.

Vi har nu *resultater* fra den første vækstsæson med opvarmning og tørke. Opvarmning forøgede tilvæksten af bølget bunke (græs), mens tørke reducerede væksten. Lyngen reagerede ikke på opvarmningen, men blev mere angrebet af lyngbladbillen på de opvarmede felter. Bedre vækst af græs ved opvarmning blev også fundet i de andre lande. På felterne i Wales og Holland fandt, man desuden øget kvælstofudvaskning ved opvarmning. Forsøget fortsætter formentlig 4 år mere, således det bliver muligt at afgøre om påvirkninger af økosystemet fra klimaændringer har en langsigtet virkning.

Følg med på www.risoe.dk/climoor

Vandmiljøet i Danmark: Modellering af klimapåvirkninger med farvands-modellen

v/ Karen Edelvang og Kim Gustavson, DHI - Institut for Vand og Miljø, Hørsholm

Der er en række mulige effekter af den globale opvarmning på det danske vandmiljø. Som eksempler kan nævnes:

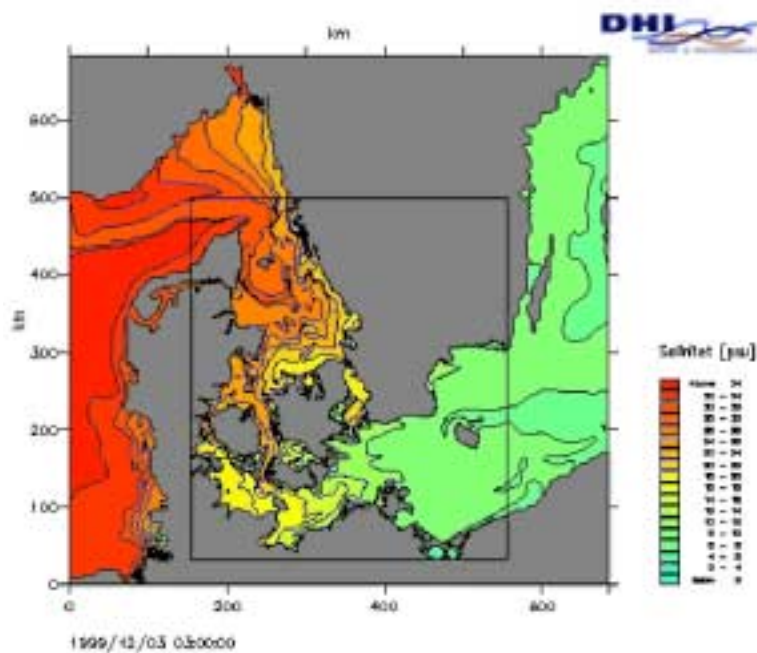
- Vandstandsstigninger vil medføre en ændring af den nuværende kystlinie
- Temperaturstigninger vil påvirke havcirkulation og algevækst
- Øgede nedbørsmængder vil medføre øget tilstrømning af ferskvand og næringsstoffer
- Ændrede stormmønstre vil betyde ændrede bølgehøjder
- Ændrede næringsstofkredsløb og iltforhold medfører anderledes vandmiljø

Vandstandsstigninger

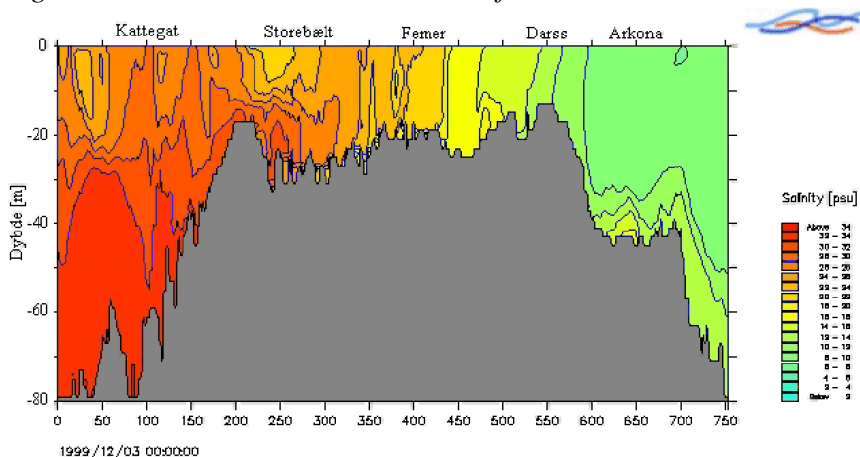
Effekten af vandstandsstigningen vil være en øget interesse for hvilke kystsikringstiltag, der er mulige langs den danske kystlinie. Det forventes, at der vil ske en øget erosion af de danske kyster i forbindelse med tilbagetrækning af kystlinien, ligesom lavtliggende områder vil blive oversvømmet. Disse effekter vil give et øget krav til sikring af udsatte danske kyststrækninger, ligesom en naturlig tilbagetrækningen af barriereøerne i vadehavet vil åbne for diskussionen om, hvorvidt man skal lade kystlinien indstille sig på en ny ligevægt i takt med den øgede vandstand. En af de mest skånsomme og effektive måder at lave kystsikring på er strandfodring, hvor man pumper sand ind på kysten fra dybere områder. I perioden fra 1974 til 1997 steg strandfodringen langs den jyske vestkyst mellem Lodbjerg og Nymindegab fra 0,2 til 3,6 millioner m³. Dette skal ses som et udtryk for metodens effektivitet og ikke som et resultat af vandstandsstigning generelt. En ændring i vandstand vil givetvis også betyde, at der vil forekomme en ændret stabilitet af de nuværende kystkonstruktioner, der er designet til en anden vandstand og et andet vindklima. I øjeblikket findes der ikke en erklæret politik omkring fremtidssikring af kysterne mod en forventet vandstandsstigning.

Farvandsmodellen

Farvandsmodellen er en operationel 3D hydrostatisk model, der er udviklet af DHI. Farvandsmodellen har en stor spatial opløsning, idet den dækker hele Østersøen, de indre danske farvande og en stor del af Nordsøen. Den er designet for Miljøstyrelsen som led i det nationale program for overvågning af havmiljøet (NOVA 2003). Modellen simulerer hydrodynamik (vandudskiftning, temperatur, salt). På baggrund af sammenhørende værdier af salt- og næringsstofkoncentrationer kan stoftransporten gennem veldefinerede tværsnit beregnes. I øjeblikket udvikler DHI Farvandsmodellen til at inkludere eutrofiering som en del af beregningerne med tilhørende algevækst og iltbalance. På denne måde vil stoftransport og vandkvalitet i de danske farvande kunne beskrives mere detaljeret. I Figur 1 og 2 vises et eksempel på simulering af indtrængende saltvand fra Nordsøen under stormen 3. december 1999. Figur 1 viser den spatiale fordeling af overfladesaliniteten i de danske farvande. Figur 2 illustrerer, hvorledes den vertikale salinitetsgradient er udlignet på strækningen mellem Storbælt og Darss Sill pga. stormens opblanding af vandmasserne.



Figur 1. Farvandsmodellen: Overfladesalinitet under stormen 3/12-99.



Figur 2. Farvandsmodellen: Tværsnit af saliniteten gennem de indre danske farvande 3/12-99.

Fremtidige applikationer

I relation til simulering af fremtidige påvirkninger af det danske vandmiljø på baggrund af klimaændringer er der utallige muligheder indbygget i modellen, der drives af vandstandsvariationer, vindfelter, lufttemperatur og lufttryk. Isbelægning, nedbør, fordampning, havspejlsændringer generelt og i relation til densitet, salinitet, temperatur og afstrømning er nogle af de parametre, der vil kunne indgå i sådanne simuleringer. Til beregning af varmetransport kan benyttes solindstråling og luftfugtighed. Til beregning af varmetransporten indgår fordampningsvarme, varmetab fra almindelig konvektion, varmetab fra kortbølget udstråling og varmetab fra langbølget udstråling. Det vil således være muligt at simulere, hvilke konsekvenser selv små ændringer i havtemperaturen har på de biologiske og kemiske processer, ligesom der på sigt vil kunne opstilles scenarier til belysning af, hvorledes de danske kysters morfologi påvirkes af havspejlsstigninger både kvantitativt og kvalitativt.

Effekterne af en ændring i UVB-strålingen i de danske havområder er en anden mulig applikation. Dette er bl.a. relevant, fordi Farvandsmodellen dækker nogle havområder som er meget forskellige i kemisk, fysisk og biologisk henseende. UVB strålingen er i de seneste år øget som en konsekvens af en udtynding af ozonkoncentrationen i atmosfæren. Det er dokumenteret, at UVB strålingen kan:

- hæmme væksten af alger og bakterier i havet
- stimulere nedbrydning af svært nedbrydeligt organisk stof
- fotokemisk kan transformere organisk kulstof om til uorganisk kulstof

Mulige effekter af UVB stråling kan omfatte store arealer og selv små effekter kan være af betydning for omsætningen af kulstof i havet, herunder også på udvekslingen af kulstof mellem havet og atmosfæren. Modellering af UVB strålingens effekter kan i modellen bygge på data for indstråling af UVB, vægtningsfunktioner mellem bølgelængde og sensitivitet for UVB, nedtrængningsdybde af UVB i vandsøjlen, relationer mellem UVB-dosis og effekter på alger, bakterier, organisk stof m.m.

Drivhuseffekt og klimaændringer – et U-landsproblem

v/ Jes Fenger, Danmarks Miljøundersøgelser

Drivhuseffekt og klimaændringer er - som alle ved - et kompliceret og tværfagligt problem - så man kan strukturere det på flere led, fx i tre spørgsmål:

- Hvad er det der basalt set forventes at give menneskeskabte klimaændringer?
- Hvordan og hvem eller hvad må de forventes at ramme?
- Hvordan kan eller skal vi forholde os til dem i retning af forhindring, accept eller tilpasning?

Selvom der indiskutabelt er tale om et globalt problem, ses det ofte under en "I-lands-synsvinkel". Det er ikke så mærkeligt. For foreløbig skyldes ændringerne i atmosfærens CO₂ indhold fortrinsvis I-landenes energiforbrug. Og, som der står i forordet til februar-nummeret af AMBIO, der handler om Global Change Research i Afrika: "De fleste af verdens forskere lever og arbejder på den nordlige halvkugle - specielt i tempererede og boreale zoner, medens det meste af verdens befolkning lever i troper og subtroper, der dækker det største landareal. - Det giver en skævhed i såvel videnskabelige undersøgelser som politiske forhandlinger".

Rent faktisk viser flere nationale impact-studier, at visse klimaændringer for I-landene ikke vil være så tossede endda. Der er ikke noget mærkeligt i at den tekniske udvikling har været størst i de tempererede områder. De første kulturer opstod ganske vist under lidt varmere himmelstrøg, men i det lange løb har et klima der giver visse tekniske udfordringer - og samtidigt tillader det nødvendige overskud til at udvikle dem - været gunstigst. Og da det tempererede klima i følge sagens natur følger pænt i midten, er klimaændringer - set helt overordnet - heller ikke så kritiske.

Vores belastning af miljøet afhænger af tre basale parametre:

- Vores materielle levestandard,
- den teknologi der sikrer den
- og det antal mennesker der skal have den.

Man kan godt dele det teknologiske op i energiforbrug og CO₂ - intensitet, men uanset hvordan man gør det har den teknologiske udvikling miljømæssigt ikke kunnet følge med væksten i befolkning og levestandard.

I april 1987 udkom så den såkaldte Brundtland-rapport med sin erkendelse af nødvendigheden af vækst i både I- og U-lande og sine ideer om bæredygtig udvikling. Det blev her anbefalet at I-landenes energiforbrug per indbygger skulle halveres i løbet af 40 år. Og at energien skulle fremstilles miljømæssigt forsvarligt. Det skulle angiveligt tillade at U-landenes energiforbrug per indbygger blev forøget med 30%. Skillelinien mellem I- og U-lande er imidlertid ikke skarp. Det er ikke så længe siden Spanien, Portugal og Grækenland var U-lande. Det er heller ikke helt klart hvor østlandene er placeret. Ofte omtales de som overgangsøkonomier, men i aggregerede opgørelser kan det være svært at gennemskue, hvad der er hvad.

En entydig opdeling er medlemmer og ikke-medlemmer af OECD. Der er i øjeblikket i alt 26 medlemslande. Ikke helt præcist, men stort set, repræsenterer de den industrialiserede verden. Benytter vi den opdeling, ser verdens udvikling for tiden således ud: Vi er i øjeblikket 6 milliarder, og vi bliver 2 til i løbet af de næste 20 år. Den altafgørende vækst sker i "ikke-OECD-lande", der allerede nu udgør mere end 80% af verdensbefolkningen. Hurtigst vil det gå i Afrika. OECD-landenes per capita udslip af kuldioxid ligger væsentligt højere end verdensgennemsnittet, men stiger relativt lidt.

“Ikke-OECD-landene”s udslip vil være steget 30% inden 2010. Og det stopper ikke dermed. Allerede nu er deres samlede udslip af samme størrelse som OECD-landenes. Så meget for Brundtland!

Hvad der sker uden for kurven er usikkert. Kloden kan nok bære over 100 milliarder mennesker, selvom tilværelsen ikke vil være morsom. Og måske 1000 milliarder, hvis vi vil afskrive naturen og leve af “Frankenfood”. Det mest sandsynlige er dog nok en stabilisering omkring 10 milliarder engang i næste halvdel af århundredet. Men det er også rigeligt!

På det tidspunkt vil det uden diskussion være de samlede udslip i de nuværende U-lande, der bliver afgørende. Det har intet med fortidens synder eller moral og retfærdighed at gøre; det er bare en realistisk fremskrivning! Sagt provokerende: Problemet er snart ikke mere I-landenes luksustilværelse, men at U-landene - forståeligt nok - gerne vil have del i den.

Selvom energiproduktion står øverst på dagsordenen som kilde til kuldioxid, er det jo ikke den eneste. Den næstvæsentligste er skovrydninger. Man kan diskutere længe og emotionelt hvad der egentlig er skovrydning og hvor berettiget det måtte være, men der er ingen tvivl om at det fortrinsvis sker i udviklingslande i tropiske områder. Alt i alt virker Jordens samlede vegetation dog i øjeblikket som et kulstofdræn, fordi tilvæksten i de tempererede områder er større end tabet i troperne. Men det er ikke nogen holdbar situation. Og den vender måske i et varmere klima om 50 år.

Hvad vil det her så betyde? Det engelske Hadley center forestiller sig tre klimascenarier svarende til henholdsvis:

- En business as usual udvikling. *Helt uantagelig!*
- En stabilisering af kuldioxid niveauet på 750 ppm i løbet af godt 200 år - (tre gange det før-industrielle niveau og omkring en fordobling i forhold til nu). *Et realistisk mål.*
- En stabilisering af kuldioxid niveauet på 550 ppm i løbet af godt 200 år - (omkring en fordobling i forhold til nu det før-industrielle niveau). *Meget optimistisk!*

Og så ser man på situationen i år 2080. Det der kommer til at betyde noget, er mad til den voksende befolkning. Globalt set er der endnu mad nok i verden, fordi den forbedrede landbrugsproduktion foreløbig har vundet i kapløbet med befolkningstallet. Men der er fordelingsproblemer, som får lokal misvækst til at udvikle sig til katastrofer. Meget firkantet sagt af den tyske forsker Heilig: “Selv skandalen med hungersnød i Afrika er ikke et resultat af et landbrug der nærmer sig sin bæreevne. Det er i det væsentlige en konsekvens af massive politiske fejlgreb, korruption, etniske konflikter, uvidenhed og den regerende elites inkompetence”

Overordnede vurderinger viser at det samlede udbyttepotentialer næppe vil ændres væsentligt de første 100 år, men der vil være vindere og tabere. Det os der kan blive vinderne. Den generelle konklusion er, at udbyttet vil gå op i områder på høje og middelhøje breddegrader og gå ned nærmere ækvator. Afrika vil blive ramt hårdest. Det er ikke heldigt, for det er fortrinsvis i disse områder man forventer den største befolkningstilvækst. Og det vil være svært at stable endnu en grøn revolution på benene. I særdeleshed hvis man afviser gen-manipulation.

Så kan man selvfølgelig opdyrke mere areal. Her ligger en reserve, for rent faktisk har det dyrkede areal kun været svagt stigende de sidste 50 år. Og udbyttet er vundet ind i effektivitet, således at der nu kun bruges halvt så meget areal per person. Uheldigvis vil det jo ofte betyde skovrydninger, som vi af andre grunde ikke bryder os om. Og helt galt kan det gå, hvis der opstår en konflikt mellem behovet

for landbrugsjord og arealer til skovrejsning, der skal binde kuldioxid. I industrilandene kan man ændre spisevaner i retning af mindre ressourcekrævende vegetabilsk mad, men her er ikke meget at hente i mange U-lande.

Snævert knyttet til behovet for fødevarer har vi behovet for vand. Når det overhovedet er lykkedes at forøge landbrugsproduktionen i det givne omfang, skyldes det en mere end fordobling af kunstvanding i sidste halvdel af det 20de århundrede. Af de kortlagte områder koncentrerer problemerne sig i et 30° bælte nord for ækvator. Overordnet forventer man vandmangel for 2,3 - 3,2 milliarder i år 2050 i BAU scenariet. Tallet kan reduceres til 1,7 i 550 ppm scenariet.

Klimaet påvirker også det menneskelige helbred. Man kan selvfølgelig få flere hedeslag eller færre lungebetændelser i et varmere klima, men de fleste virkninger vil være indirekte følger af ændringer i mængde og kvalitet af mad og vand. Meget omtalt er desuden den forøgede risiko for vektorudbredte sygdomme - specielt malaria. Ganske vist vil malariamyggen udbrede sig mod nord, men igen er det nok umiddelbart U-landene der vil blive ramt hårdest. Om ikke andet så fordi de ikke har et tilfredsstillende sundhedsvæsen og ikke har råd til den bedste medicin. En situation vi jo allerede har fået demonstreret med AIDS.

Sideløbende med at temperaturen stiger, vil havenes vandstand stige. Det går lidt langsommere med vandstanden end med temperaturen, og resultatet er er ikke meget forskelligt i de tre Hadley-scenarier. I 2080 vil stigningen være omkring 40 cm i BAS scenariet. Denne stigning vil forsinkes 25 år i 750 ppm scenariet og 40 år i 550 ppm scenariet. I alle tilfælde vil belastningen forværres, hvis den ledsages af forøget hyppighed af storme med stormfloder. Det vil ikke i sig selv være den store ulykke for de fleste I-lande med en veludviklet infrastruktur. Myndigheder i Danmark planlægger tilsyneladende heller ikke efter en forventet vandstandsstigning. Holdningen synes at være: Lad os nu se det, før vi tror det, og der er jo god tid.

Sådan er situationen ikke i udviklingslandene. I øjeblikket rammes globalt ca. 10 millioner om året af stormfloder. Selv uden vandstandsstigninger vil tallet vokse, fordi befolkningen vokser i kystområder. I BAS-scenariet vil yderligere omkring 80 millioner rammes om året. Fortrinsvis i det sydlige Asien, men også på Afrikas østkyst og langs Afrikas middelhavskyst. Og i mindre omfang på Afrikas vestkyst. Stort set alt sammen U-landsområder. Eksempelvis risikerer Bangladesh at miste 18% af sit areal. Værst går det selvfølgelig ud over de meget omtalte små Ø-riger, som det i mange tilfælde hverken vil være teknisk eller økonomisk muligt at beskytte.

I de to begrænsningsscenarier scenarier kan det belastede antal væsentligt reduceres. Men det skal pointeres at der egentlig kun er tale om en udsættelse - ikke en reel forhindring.

Og hvis er så skylden, og hvad kan vi gøre. I bogen "Drivhuseffekten i en ulige verden - et eksempel på miljøkolonialisme" lancerede de to indiske forskere Agarwal og Narain allerede for ti år siden en argumentation, der - i forskellige former - senere er gået igen i de internationale klimaforhandlinger.

De skelner mellem 3.verdens lande og ikke 3.verdens lande. Og det svarer nogenlunde til U- og I-lande. De taler om naturlige dræn, som er relateret til areal og befolkningstæthed, som kan give ret til emissioner og som måske skal regnes tilbage til Ruder Konges tid. Men pointen er at alle Jordens beboere har en principiel ret til den samme emission, og at I-landene for længst har opbrugt deres. Endelig indfører de et moralsk aspekt og spørger: "Kan vi virkelig ligestille kuldioxidbidragene fra benzinslugende biler i Europa og Nordamerika, eller, for den sags skyld, ethvert sted i den tredje verden, med metanudslippet fra fattige bønders trækokser og rismarker i Vestbengalen eller Thailand?"

Hertil kunne man lige så provokerende svare: Skal vi virkelig spænde livremmen ind, blot for at skaffe plads til nogle flere indere? Det er i realiteten det USA siger (om end i mere diplomatiske vendinger) ved internationale klimaforhandlinger.

Den slags diskussioner fører ikke rigtigt nogen vegne. Drivhuseffekten har ingen moral og ingen retfærdighedssans. Men de to indere har ret i nogle af deres faktuelle oplysninger. I et senere indlæg ved en IPCC konference i 1999 sammenlignede de energi-relateret udslip af kuldioxid i USA med en række af de virkeligt fattige lande. Fx hvor mange nepalesere, der går på en amerikaner: 518 i 1990 og 269 i 1996. Det viser selvfølgelig den uretfærdighed, der er i den øjeblikkelige fordeling. Men det demonstrerer også den tikkende bombe der ligger i forsøgene på at udjævne den.

Samlet havde I-landene omkring 1990 i alt udsendt langt mere end U-landene. Integreret over tid fra omkring år 1800 mere end 4 gange så meget. Ganske vist betyder skovrydninger nu betyder mere i U-landene end i I-landene. Men set i et historisk perspektiv har I-landene været ansvarlige for ¾. Danmark har jo haft meget mere skov end nu. Vi har bare brugt den til brænde og krigsskibe.

De fleste menneskelige konflikter - også dem der tilsyneladende domineres af etniske eller religiøse forskelle - har deres oprindelse i en kamp om ressourcer og plads. Det alvorligste problem som følge af klimaændringer kan derfor blive folkevandringer, når såkaldte "Miljøflygtninge" må forlade oversvømmede områder eller områder, hvor landbruget ikke mere kan brødføde dem. I en vurdering fra 1993 anslås det at der i år 2050 vil være tale om 150 millioner. I bedste fald kan det bl.a. betyde en forøget illegal indvandring gennem Nordafrika til Europa. I værste fald kan større områder blive totalt destabiliseret og udløse mere eller mindre omfattende krige.

Hverken i internationale studier eller i vores egne danske har man endnu rigtigt forholdt sig til dette spørgsmål, men vi har fået en forsmag på problemet i Afrika, hvor et samspil af etniske konflikter, politisk ustabilitet og miljønedbrydning har sendt millioner på flugt. Et specielt aspekt herved er risikoen for større udbredelse af tropesygdomme.

De sikkerhedsmæssige aspekter i denne sag diskuterer vi i et projekt som foreløbig har været præsenteret under navnet:

A STABILITY - INSTABILITY PREDICAMENT - the 21st century's global security agenda.

Hvordan kan vi så sammenfatte det her? Ingen vil nægte at det er industrialiseringen - og dermed I-landene - der har startet problemerne. Og vi skal såmænd også nok komme til at betale regningen. Men i de nærmeste årtier er der - i mange henseender - tale om et U-landsproblem:

- Det er U-landenes udslip, der bliver dominerende
- Det er U-landene, der vil få sværest ved at begrænse deres udslip - i det omfang de overhovedet er interesseret i det.
- Det er U-landene, der vil blive hårdest ramt af klimaændringer - og på områder hvor mange i forvejen er hårdt belastet.

Og endelig:

- Det er U-landene, der - netop fordi de er U-lande - umiddelbart mangler den infrastruktur som skal til, hvis man skal gennemføre en vellykket tilpasning til de klimaændringer vi næppe slipper for.

Internationalt samarbejde om drivhusgasreduktion mellem lande med reduktionsforpligtigelsen i Kyoto Protokollen og lande uden sådanne forpligtigelser - et dansk perspektiv

v/ Kirsten Halsnæs, Forsknings specialist Ph.D. Econ., UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Forskningscenter Risø Danmark

Økonomiske effektivitet i reduktion af drivhusgasser

En række forskningsprojekter i Risø's UNEP Center har beskæftiget sig med, hvordan der globalt set kan samarbejdes mellem industrialiserede lande og udviklingslande om at opnå billigst mulige drivhusgasreduktioner.

Problemstillingen kan kort fortalt skitseres som følger. Drivhuseffekten hænger sammen med den totale atmosfæriske drivhusgasreduktion, som bl.a. er et resultat af menneskeskabte drivhusudslip fra energisektoren, landbrug, skove, transportsektoren, industrielle processer og affaldshåndtering. Virkningen af disse drivhusgasudslip er den samme uanset lokaliseringen af kilden. Det kan dermed globalt set betale sig at reducere udslippene ved de kilder, hvor reduktionsomkostningerne pr. enhed drivhusgasreduktion er mindst. Matematisk set betyder det, at en minimering af de totale globale reduktionsomkostninger opnås når kildernes marginale reduktionsomkostninger er ens.

Samarbejdsproblematikken i klimaaftaler

FN indgik i 1992 en klimaafteale, som senere i 1997 er blevet fulgt op af den såkaldte Kyoto Protokol, der indeholder bindende målsætninger for niveauet for de industrialiserede landes drivhusgasudslip i perioden 2008 til 2012. Disse målsætninger betyder, at de industrialiserede lande på dette tidspunkt i gennemsnit skal reducere deres udslip til at være 5,5% under niveauet i 1990. Protokollen åbner op for, at industrialiserede lande kan få "kredit" for emissionsreduktion, som de opnår ved at investere i projekter i udviklingslandene, som ikke på nuværende tidspunkt har en reduktionsforpligtigelse.

Der er på den måde lagt op til, at der skal satses på en global omkostningseffektivitet ved at få udviklingslande og industrialiserede til sammen at gennemføre reduktioner, hvor de er billigst mulige.

Omkostningsbegreber

Der er en række metodiske og praktiske vanskeligheder ved at opgøre omkostningerne ved drivhusgasreduktion. UNEP Centret har over en årrække udviklet en metode til opgørelse af omkostninger, der kombinerer principper fra økonomisk projektvurdering og sektorelle modeller. Den metodiske fokus er på en integreret vurdering af drivhusgasudslip og samfundsøkonomiske, finansielle og styringsmæssige aspekter ved forskellige reduktionsmuligheder såsom renere teknologier, miljøskatter og regulering.

Industrialiserede lande og udviklingslandenes omkostningsmæssige perspektiver ved gennemførelse af samarbejde om drivhusgasreduktion kan herefter formaliseres på følgende måde:

- industrialiserede lande ønsker at minimere finansielle omkostninger pr. enhed drivhusgasreduktion.

- udviklingslandene ønsker at maksimere det samlede økonomiske og udviklingsmæssige "udbytte", som landet kan få ved at samarbejde med et industrialiseret land. Det økonomiske og udviklingsmæssige udbytte kan f.eks. "måles" i forhold til den samlede finansielle transferering til projektet, lokale luftforureningsmæssige bi-produkter til projekter (f.eks. SO₂, og NO_x), og sociale fordele såsom øget beskæftigelse.

Eksempler på samarbejdsprojekter

Industrialiserede lande og udviklingslandenes perspektiver på omkostninger ved alternative reduktionsprojekter har bl.a. været opgjort i et studie for Botswana.

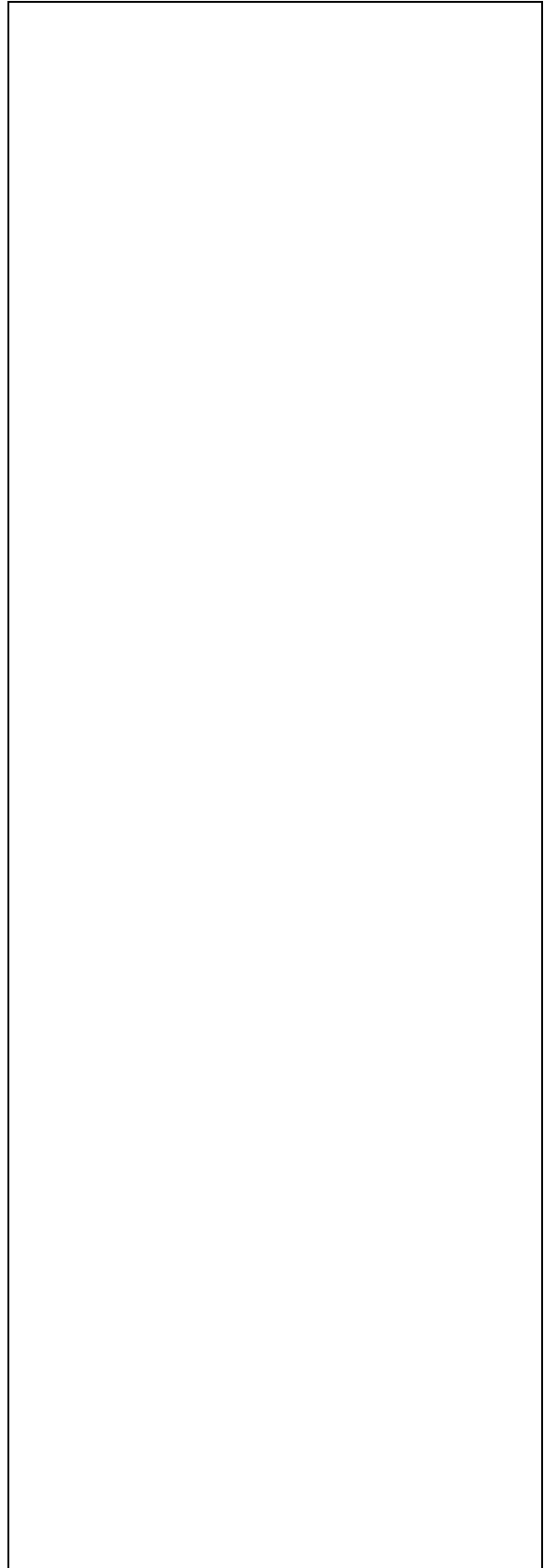
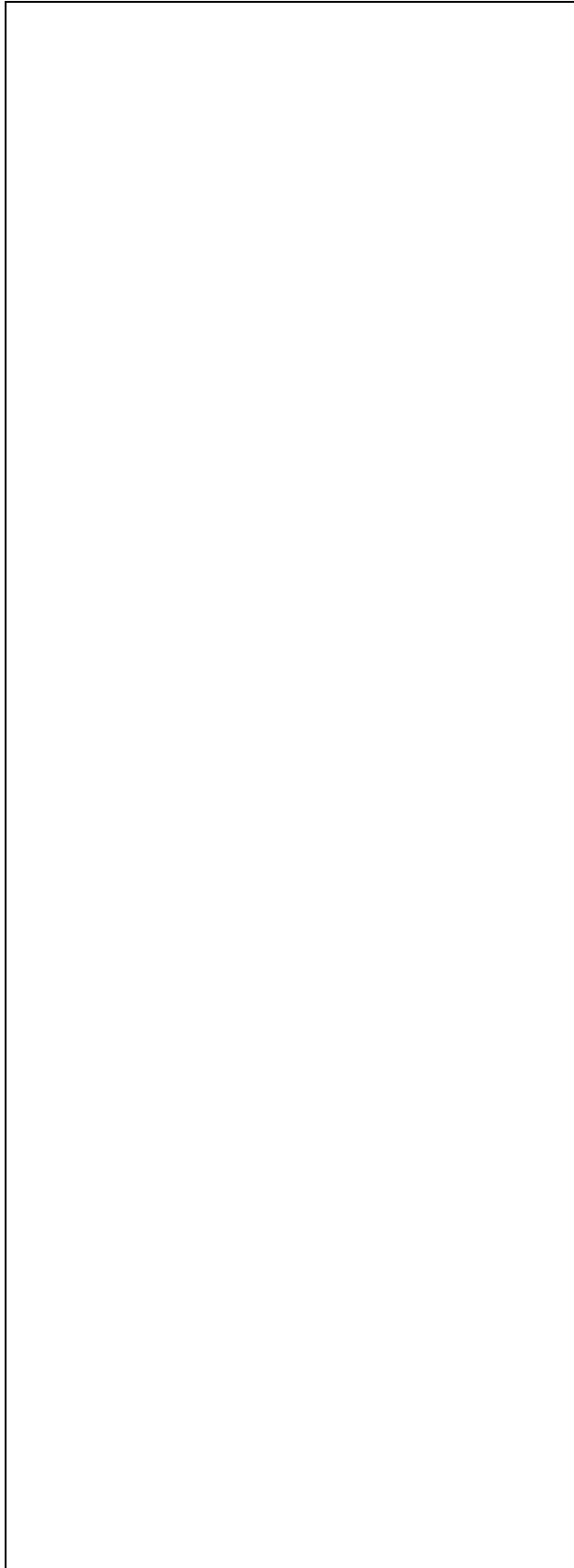
Opgørelsen omfattede vurdering af en række reduktionsprojekter i energisektoren, transportsektoren og industrien bl.a. omfattende asfaltering af sandet vej, lavenergipærer, bilinspektionscentre, effektive industrielle kedler og PV elproduktions anlæg.

Analysen viser, at der er store forskelle på, hvilke projekter, der ser ud til at være mest økonomisk attraktive alt efter, om man anlægger et finansielt perspektiv som industrialiserede lande, eller et bredere miljø- og udviklingsperspektiv, som Botswana kunne tænkes at forfølge. Nedenstående figurer viser de marginale finansielle omkostninger ved projekterne i Botswana og de udviklingsmæssige omkostninger set for de samme projekter.

Det må først af alt konkluderes, at der ser ud til at være betydelige lokale udviklings- og miljømæssige fordele knyttet til de analyserede drivhusgasprojekter. Dette indebærer, at omkostningerne ved projekterne der er vist i højre figur i alle de analyserede tilfælde er lavere end de finansielle omkostninger vist i venstre figur. Botswana vil altså her have en fordel at samarbejde med industrialiserede lande, hvis alle projektets finansielle omkostninger dækkes.

Projekternes prioriteringsorden ændres, som det ses af figurene, når omkostningsperspektivet ændres. De lavest mulige finansielle omkostninger ses for bilinspektionscentret, effektive industrielle kedler og asfalteringsprojektet. Botswana's udviklingsmålsætninger vil imidlertid i højere grad imødekommes, hvis asfalteringsprojektet er prioriteret højest og efterfølges af lavenergipærer, industrielle kedler og herefter bilinspektionscentret. Disse projekter prioriteres særligt højt fordi de har en gunstig virkning på lokal luftforurening og beskæftigelse. Hvis der ydermere tages hensyn til fordelene ved reduceret kulforbrug er det de industrielle kedler og lavenergipærer, som bliver mest attraktive.

Metoden til at opgøre reduktionsomkostninger har også været afprøvet i UNEP projekter for en lang række land i Sydamerika, Afrika, Asien og Østeuropæiske lande. Arbejdet hermed har haft en ledende rolle i forbindelse med IPCC's arbejdsgruppe om Social and Economic Dimensions of Climate Change i den anden vurderingsrapport og om Climate Change Mitigation i den igangværende tredje vurderingsrapport.



Forkortelser/akronymer

AGCM	Atmosphere General Circulation Model
AOGCM	Atmosphere-Ocean Global Circulation Model
BAU	Business-as-usual
ECHAM4/OPYC	Max-Planck-Institute Coupled atmosphere ocean model
ERA	European Centre for Medium Range Weather Forecast Re-analysis Project
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GCM	Global Circulation Model
HIRHAM	HIRLAM limited area model with physics from MPI Hamburg
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (WMO/UNEP)
IS92	The IPCC non-intervention greenhouse gas Emission Scenarios from 1992
MSL	Mean Sea level
MSU	Microwave Soundin Unit
NAO	North Atlantic Oscillation
NCEP	National Center for Environmental Prediction, USA
NHLT	Northern Hemisphere Land air Temperature
NOVA 2003	Det nationale program for overvågning af havmiljøet
SCL	Solar Cycle Length
SST	Sea Surface Temperatures
TSL	Time Slice simulations
WMO	World Meteorological Organization
UNEP	UN Environmental Programme

NAVN:

Uffe Andersen
 Erik Buch
 Jens H. Christensen
 Ole Bøssing Christensen
 Andrass Ziska Davidsen
 Karen Edelvang
 Henrik Feddersen
 Jes Fenger
 Povl Frich
 Lars From
 Philippe Grandjean
 Annette Guldborg
 Per Gundersen
 Kirsten Halsnæs
 Aksel Walløe Hansen
 Erik Haslund
 Anne Mette K. Jørgensen
 Antoon Kuijpers
 Eigil Kaas
 Bjørn Knudsen
 Susanne Lassen
 Leif Laursen
 Jonas Lawesson
 Pierre Lemaitre
 Hans Linderøth
 Hans Lund
 Bennert Machenhauer
 Tom Vindbæk Madsen
 Poul Malling
 Karsten Mangor
 Wilhelm May
 Ib Steen Mikkelsen
 Naja Mikkelsen
 Eva Nielsen
 Lone Nystrup
 Niels Nørgaard
 Jørgen E. Olesen
 Thorsten Piontkowitz
 Erik Rasmussen
 Lisbeth Rauff
 Åse Rennermalm
 Mikkel Salling
 Torben Schmith
 Martin Stendel
 Hans von Storch

INSTITUTION:

Danmarks Meteorologiske Institut
 Danmarks Meteorologiske Institut
 Danmarks Meteorologiske Institut
 Danmarks Meteorologiske Institut
 DTU
 DHI, Institut for vand og miljø
 Danmarks Meteorologiske Institut
 DMU
 Hadley Centre
 Morgenavisen Jyllands-Posten
 Odense Universitet
 Danmarks Meteorologiske Institut
 FSL
 UNEP, RISØ
 KU, Geofysisk afdeling
 Glostrup
 Danmarks Meteorologiske Institut
 GEUS
 Danmarks Meteorologiske Institut
 Danmarks Meteorologiske Institut
 GEUS
 Danmarks Meteorologiske Institut
 Biologisk Institut, AU
 T&B Consult
 Handelshøjskolen i Århus
 DTU, Inst. for Bygn. Og Energi
 Danmarks Meteorologiske Institut
 Biologisk Institut, AU
 Morgenavisen Jyllandsposten
 DHI, Institut for vand og miljø
 Danmarks Meteorologiske Institut
 Danmarks Meteorologiske Institut
 GEUS
 Statens Luftfartsvæsen
 Midtjydsk Teknologi-Center
 Politiken
 Danmarks Jordbrugsforskning
 Kystinspektoret
 Energistyrelsen
 KU
 Geografisk Institut, KU
 DTU
 Danmarks Meteorologiske Institut
 Danmarks Meteorologiske Institut
 GKSS, Tyskland

NAVN:

Henrik Søgaard
Bent Sørensen
Sannie Vester Thorsen
Peter Thejll
Ulrik Torp
Henrik Vedel

INSTITUTION:

Geografisk Institut, KU
RUC
Danmarks Meteorologiske Institut
Danmarks Meteorologiske Institut
Miljøstyrelsen
Danmarks Meteorologiske Institut

DANMARKS KLIMACENTER

Danmarks Klimacenter blev oprettet ved Danmarks Meteorologiske Institut i 1998. Centrets hovedformål er at kortlægge den sandsynlige klimaudvikling i det 21. århundrede - globalt og i Danmark - herunder fremtidige klimaændringers indflydelse på de danske, grønlandske og færøske samfund.

Klimacentrets aktiviteter omfatter udvikling af nye og forbedrede metoder til satellitbaseret klimaovervågning, studier af klimaprocesser (inklusive sol-klima relationer, drivhuseffekt, ozonens rolle og luft/hav/havis vekselvirkning), udvikling af globale og regionale klimamodeller, sæsonprognoser samt udarbejdelse af globale og regionale klimascenarier til effektstudier.

Klimacentret er organiseret med et sekretariat i DMI's Forsknings- og udviklingsafdeling og koordineres af forskningschefen.

Klimacentret har etableret Dansk Klimaforum, som er et forum til udveksling af resultater og viden og til drøftelse af klimaspørgsmål. I Klimaforum afholdes temadage og workshops med deltagelse af klimaforskere og andre, der har interesse i centrets aktiviteter.

Centret udgiver et populært nyhedsbrev, KlimaNyt, som udkommer 4 gange årligt. KlimaNyt kan også ses på www.dmi.dk.

DMI har udført klimaovervågning og forskning siden oprettelsen i 1872 - og oprettelsen af Danmarks Klimacenter har styrket både klimaforskningen på DMI og samarbejdet med forskningsinstitutioner i Danmark og det øvrige Europa.

Tidligere rapporter fra Danmarks Klimacenter:

- Dansk Klimaforum 29. - 30. april 1998. (Åbning af Danmarks Klimacenter, Referater fra workshop, Resumé af præsentationer). *Danmarks Klimacenter, Rapport 98-1.*
- Danish Climate Day 1999. *Climate Centre Report 99-1.*
- Dansk Klimaforum 12. april 1999. Workshop: Klimatisk variabilitet i Nordatlanten på tidsskalaer fra årtier til århundreder. *Danmarks Klimacenter, Rapport 99-2.*
- Luftfart og den globale atmosfære, Danmarks Meteorologiske Instituts oversættelse af IPCC's særrapport "Aviation and the Global Atmosphere, Summary for Policymakers". *Danmarks Klimacenter, Rapport 99-3.*
- Forskning og Samarbejde 1998-1999, *Danmarks Klimacenter, Rapport 00-1.*
- Drivhuseffekten og regionale klimaændringer, *Danmarks Klimacenter, Rapport 00-2.*
- Emissionsscenarier, Danmarks Meteorologiske Instituts oversættelse af IPCC's særrapport "Emission Scenarios, Summary for Policymakers". *Danmarks Klimacenter, Rapport 00-3.*