



# ***SYNTESE- RAPPORT***

## **CLIMATECHANGE**

Global Risks, Challenges & Decisions

KØBENHAVN, 10.-12. marts 2009

[www.climatecongress.ku.dk](http://www.climatecongress.ku.dk)

Katherine Richardson

Will Steffen

Hans Joachim Schellnhuber

Joseph Alcamo

Terry Barker

Daniel M. Kammen

Rik Leemans

Diana Liverman

Mohan Munasinghe

Balgis Osman-Elasha

Nicholas Stern

Ole Wæver



INTERNATIONAL ALLIANCE OF  
RESEARCH UNIVERSITIES

Australian National University, ETH Zürich, National University of Singapore,  
Peking University, University of California - Berkeley, University of Cambridge,  
Københavns Universitet, University of Oxford, The University of Tokyo, Yale University

## Plenumtalere

1. Dr. Rajendra K. Pachauri, Director General of The Energy and Resources Institute (TERI) and Chairman of the IPCC
2. Professor Lord Nicholas Stern, IG Patel Professor of Economics and Government, London School of Economics
3. Mr. Anders Fogh Rasmussen, (Former) Prime Minister of Denmark
4. Mrs. Connie Hedegaard, Danish Minister for Climate and Energy
5. Mr. Helge Sander, Danish Minister for Science, Technology and Innovation
6. Mr. John Ashton, Special Representative for Climate Change, United Kingdom Foreign & Commonwealth Office
7. Professor Amanda Lynch, School of Geography and Environmental Sciences, Head of the Monash University Climate program, Monash University
8. Dr. Balgis Osman-Elasha, Higher Council for Environment and Natural Resources (HCENR), Sudan
9. Professor Daniel M. Kammen, Director, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Energy and Resources Group & Goldman School of Public Policy, University of California, Berkeley
10. Professor Diana Liverman, Director of the Environmental Change Institute, University of Oxford
11. Professor Hans Joachim Schellnhuber, Director of the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Visiting Professor at University of Oxford
12. Professor Katherine Richardson, Vice Dean of the Faculty of Science, University of Copenhagen
13. Professor Nebojsa Nakicenovic, Acting Deputy Director of the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Professor of Energy Economics, Vienna University of Technology
14. Professor Qingchen Chao, Deputy Director General, Department of Science & Technology Development, China Meteorological Administration
15. Professor Stefan Rahmstorf, Potsdam Institute for Climate Impact Research
16. Professor William D. Nordhaus, Sterling Professor of Economics, Yale University
32. Director Henrik Bindslev, Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Technical University of Denmark
33. Professor Jim Skea, Research Director, UK Energy Research Centre
34. Professor Diana Ürge-Vorsatz, Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University
35. Professor Jiahua Pan, Senior Fellow and Deputy Director, Research Centre for Sustainable Development, Chinese Academy of Social Sciences
36. Professor Dr. Joyeeta Gupta, Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam
37. Professor Warwick McKibbin, Executive Director, CAMA, ANU Office of Business and Economics, Australian National University
38. Professor Pete Smith, School of Biological Sciences, University of Aberdeen
39. Professor Jørgen E. Olesen, Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University
40. Director General Frances Seymour, Centre for International Forestry Research (CIFOR)
41. Professor Jacquie Burgess, Head of School, University of East Anglia
42. Professor Daniel M. Kammen, Director, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Energy and Resources Group & Goldman School of Public Policy, University of California, Berkeley
43. Dr. James E. Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies
44. Professor Ole John Nielsen, Department of Chemistry, University of Copenhagen
45. Professor Maria Carmen Lemos, Natural Resources and Environment, University of Michigan
46. Professor Torkil Jønych Clausen, Managing Director of DHI Water, Environment and Health: Water Policy in Denmark.
47. Professor Harold A. Mooney, Department of Biological Sciences, Stanford University
48. Dr. Mark Stafford Smith, Science Director Climate Adaptation Flagship, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)
49. Professor Paul Leadley, Laboratoire d'Écologie, Systematique et Evolution (ESE Laboratory), Université Paris-Sud 11
50. Dr. Frank Jotzo, Climate Change Institute, Australian National University
51. Professor Roberto Sanchez Rodriguez, Director of UC Mexus, University of California, Riverside
52. Professor Anette Reenberg, Institute of Geography, University of Copenhagen
53. Professor Pier Vellinga, Programme Director of Climate Change, Wageningen University
54. Dr. Tom Downing, Director of Stockholm Environment Institute's Risks, Livelihoods & Vulnerability Programme
55. Dr. Dagmar Schröter, The Sustainable Development Group of the Umweltbundesamt, Austria
56. Professor John R. Porter, Department of Agricultural Sciences, University of Copenhagen
57. Professor Peter Gregory, Director of Scottish Crop Research Institute (SCRI)
58. Professor Niels Elers Koch, Director General of Forest & Landscape, University of Copenhagen
59. Dr. Jill Jäger, Sustainable Europe Research Institute (SERI)
60. Jamie Pittock, WWF Research Associate, Australian National University
61. Dr. John Christensen, UNEP Risoe Centre on Energy, Climate and Sustainable Development
62. Dr. Fatima Denton, Climate Change Adaptation in Africa (CCAA), Dakar
63. Dr. Koko Warner, Munich Climate Insurance Initiative (MCII)
64. Professor Kazuhiko Takeuchi, Deputy Executive Director of the Integrated Research System for Sustainability Science, The University of Tokyo
65. Professor Dr. Rik Leemans, Department of Environmental Sciences, Wageningen University
66. Professor Ken Caldeira, Carnegie's Institution's Department of Global Ecology, Stanford University
67. Professor Mary Scholes, School of Animal, Plant and Environmental Sciences, University of Witwatersrand
68. Dr. Carol Turley, Plymouth Marine Laboratory
69. Professor Dr. Louise Fresco, University of Amsterdam
70. Dr. Pamela Matson, Dean of the School of Earth Sciences, Stanford University
71. Mr. Agus Sari, Director of Indonesia and Policy Coordinator for Southeast Asia, EcoSecurities
72. Professor Oran Young, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara
73. Dr. Chris Hope, Judge Business School, University of Cambridge
74. Dr. Detlef Sprintz, Senior Scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research
75. Kevin Anderson, Research Director, Energy and Climate Change Programme, Tyndall Centre for Climate Change Research, Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, University of Manchester
76. Dr. Max Boykoff, Environmental Change Institute, University of Oxford
77. Dr. Aled Jones, Deputy Director, University of Cambridge Programme for Industry, University of Cambridge
78. Professor Johan Rockström, University of Stockholm & Executive Director at Stockholm Environment Institute
79. Dr. Tariq Banuri, Senior Researcher, Stockholm Environment Institute
80. Professor Ole Wæver, Political Science Department, University of Copenhagen
81. Professor Karen O'Brien, Department of Sociology and Human Geography, University of Oslo
82. Professor Thomas Heyd, Department of Philosophy, University of Victoria
83. Dr. Katrine Krogh Andersen, Special Advisor, Danish Ministry of Climate & Energy
84. Dr. Andreas Barkman, Head of Air and Climate Change Mitigation, European Environment Agency

## Session-chairs

1. Professor Dorthe Dahl-Jensen, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen
2. Dr. Konrad Steffen, Director of Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES), University of Colorado at Boulder
3. Professor John Mitchell, Director of Climate Science, UK Meteorological Office
4. Professor Masahide Kimoto, Deputy Director, Center for Climate System Research, The University of Tokyo
5. Professor Dr. Martin Visbeck, The Leibniz-Institute of Marine Sciences at the University of Kiel (IFM-GEOMAR)
6. Professor Nathan Bindoff, Institute of Antarctic and Southern Ocean Studies, University of Tasmania
7. Dr. Michael Raupach, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Marine and Atmospheric Research, leader of the Continental Biogeochemical Cycles Research Team
8. Professor Dr. Nicolas Gruber, Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, ETH Zurich
9. Professor Martin Claussen, Max Planck Institute for Meteorology, University of Hamburg
10. Professor Matthew England, Climate Change Research Centre (CCRC) University of New South Wales
11. Professor Tim Lenton, Laboratory for Global Marine and Atmospheric Chemistry, School of Environmental Sciences, University of East Anglia
12. Dr. Bette Otto-Bliesner, Senior Scientist in the Paleoclimate Group in the Climate and Global Dynamics Division, The National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, Colorado.
13. Dr. Chris Turney, Department of Geography, University of Exeter
14. Professor Keith Paustian, The Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University
15. Professor Scott Denning, Department of Atmospheric Science, Colorado State University
16. Professor Ann Henderson-Sellers, Department of Physical Geography, Macquarie University
17. Dr. Paul Baer, Research Director, EcoEquity
18. Dr. Sivan Kartha, Stockholm Environment Institute (SEI)
19. Professor Timmons Roberts, Institute for the Theory and Practice of International Relations, The College of William and Mary & Environmental Change Institute, University of Oxford
20. Professor Coleen Vogel, School of Geography, Archaeology and Environmental Studies, University of the Witwatersrand
21. Dr. Carlos Nobre, Brazil National Institute for Space Research
22. Dr. Cameron Hepburn, Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford
23. Professor Dale Jamieson, Director of Environmental Studies, New York University
24. Professor Anthony J. McMichael, National Centre of Epidemiology and Population Health, Australian National University
25. Dr. Roberto Bertolini, Director of Division of Technical Support, Health Determinants, WHO Regional Office for Europe
26. Professor Mark S. Ashton, Yale School of Forestry and Environmental Studies, Yale University
27. Professor Liping Zhou, Peking University
28. Dr. Pep Canadell, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Marine and Atmospheric Research, Executive Director Global Carbon Project
29. Professor Dr. Wim C. Turkenburg, Director Copernicus Institute, Utrecht University
30. Professor Claus Felby, Forest & Landscape, University of Copenhagen
31. Science Manager Anders Viksø-Nielsen, Novozymes Biofuels R&D
54. Dr. Tom Downing, Director of Stockholm Environment Institute's Risks, Livelihoods & Vulnerability Programme
55. Dr. Dagmar Schröter, The Sustainable Development Group of the Umweltbundesamt, Austria
56. Professor John R. Porter, Department of Agricultural Sciences, University of Copenhagen
57. Professor Peter Gregory, Director of Scottish Crop Research Institute (SCRI)
58. Professor Niels Elers Koch, Director General of Forest & Landscape, University of Copenhagen
59. Dr. Jill Jäger, Sustainable Europe Research Institute (SERI)
60. Jamie Pittock, WWF Research Associate, Australian National University
61. Dr. John Christensen, UNEP Risoe Centre on Energy, Climate and Sustainable Development
62. Dr. Fatima Denton, Climate Change Adaptation in Africa (CCAA), Dakar
63. Dr. Koko Warner, Munich Climate Insurance Initiative (MCII)
64. Professor Kazuhiko Takeuchi, Deputy Executive Director of the Integrated Research System for Sustainability Science, The University of Tokyo
65. Professor Dr. Rik Leemans, Department of Environmental Sciences, Wageningen University
66. Professor Ken Caldeira, Carnegie's Institution's Department of Global Ecology, Stanford University
67. Professor Mary Scholes, School of Animal, Plant and Environmental Sciences, University of Witwatersrand
68. Dr. Carol Turley, Plymouth Marine Laboratory
69. Professor Dr. Louise Fresco, University of Amsterdam
70. Dr. Pamela Matson, Dean of the School of Earth Sciences, Stanford University
71. Mr. Agus Sari, Director of Indonesia and Policy Coordinator for Southeast Asia, EcoSecurities
72. Professor Oran Young, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara
73. Dr. Chris Hope, Judge Business School, University of Cambridge
74. Dr. Detlef Sprintz, Senior Scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research
75. Kevin Anderson, Research Director, Energy and Climate Change Programme, Tyndall Centre for Climate Change Research, Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, University of Manchester
76. Dr. Max Boykoff, Environmental Change Institute, University of Oxford
77. Dr. Aled Jones, Deputy Director, University of Cambridge Programme for Industry, University of Cambridge
78. Professor Johan Rockström, University of Stockholm & Executive Director at Stockholm Environment Institute
79. Dr. Tariq Banuri, Senior Researcher, Stockholm Environment Institute
80. Professor Ole Wæver, Political Science Department, University of Copenhagen
81. Professor Karen O'Brien, Department of Sociology and Human Geography, University of Oslo
82. Professor Thomas Heyd, Department of Philosophy, University of Victoria
83. Dr. Katrine Krogh Andersen, Special Advisor, Danish Ministry of Climate & Energy
84. Dr. Andreas Barkman, Head of Air and Climate Change Mitigation, European Environment Agency

# SYNTESE- RAPPORT

fra

## CLIMATECHANGE

Global Risks, Challenges & Decisions

KØBENHAVN, 10.-12. marts 2009

[www.climatecongress.ku.dk](http://www.climatecongress.ku.dk)

## FORFATTERTEAM

Professor Katherine Richardson (Chair),  
Vice Dean of the Faculty of Science, University of Copenhagen

Professor Will Steffen,  
Executive Director of the ANU Climate Change Institute,  
Australian National University

Professor Hans Joachim Schellnhuber,  
Director of the Potsdam Institute for Climate Impact Research and  
Visiting Professor at University of Oxford

Professor Joseph Alcamo,  
Chief Scientist (Designate) of the United Nations Environment  
Programme (UNEP)

Dr. Terry Barker,  
Centre for Climate Change Mitigation Research, Department of Land  
Economy, University of Cambridge

Professor Daniel M. Kammen,  
Director, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Energy and  
Resources Group & Goldman School of Public Policy  
University of California – Berkeley

Professor Dr. Rik Leemans,  
Department of Environmental Sciences, Wageningen University

Professor Diana Liverman,  
Director of the Environmental Change Institute, University of Oxford

Professor Mohan Munasinghe,  
Munasinghe Institute for Development (MIND), Sri Lanka

Dr. Balgis Osman-Elasha,  
Higher Council for Environment & Natural Resources (HCENR), Sudan

Professor Lord Nicholas Stern,  
IG Patel Professor of Economics and Government,  
London School of Economics

Professor Ole Wæver,  
Political Science Department, University of Copenhagen

Københavns Universitet

Synteserapport fra

# **CLIMATECHANGE**

Global Risks, Challenges & Decisions

KØBENHAVN, 10.-12. marts 2009

[www.climatecongress.ku.dk](http://www.climatecongress.ku.dk)

Grafisk design: Konform.com

ISBN 978-87-90655-68-6

Trykt i Danmark 2009

# FORORD

FN's Klimakonvention (UNFCCC), der afholdes i København i december 2009 (parternes 15. konference, COP-15), vil være et afgørende skridt i udviklingen af en global reaktion på truslen om klimaændringer forårsaget af menneskelige aktiviteter. Det primære videnskabelige input til disse forhandlinger er den fjerde evalueringsrapport fra FN's IPCC, der blev offentliggjort i 2007<sup>i</sup>. IPCCs rapport har allerede bidraget til at øge den offentlige og den politiske bevidsthed om de samfundsrisici, der er forbundet med den ukontrollerede emission af drivhusgasser.

Siden IPCCs rapport er der fremkommet ny viden, der fremmer forståelsen af menneskets indvirkning på klimaet og af de reaktioner og metoder, der findes for at tackle dette komplicerede problem. For at samordne denne nye viden organiserede den internationale alliance af forskningsuniversiteter (IARU)<sup>i</sup> en international forskerkongres om *klimaændringer: Global Risks, Challenges and Decisions*, der blev afholdt i København fra 10.-12. marts 2009. Kongressen var åben for alle. De fleste af de omkring 2500 personer, som deltog i kongressen, var forskere, hvoraf mange også havde bidraget til rapporterne fra IPCC. Deltagerne kom fra næsten 80 forskellige lande og bidrog med flere end 1400 videnskabelige indlæg. Abstracts af alle de fremlagte videnskabelige præsentationer findes på [www.iop.org/EJ/volume/1755-1315/6](http://www.iop.org/EJ/volume/1755-1315/6), og en udskrift af den afsluttende plenarsession findes på [environmentalresearchweb.org/cws/article/opinion/39126](http://environmentalresearchweb.org/cws/article/opinion/39126).

Denne samlede rapport er en up to date oversigt over forskningen inden for et bredt område, der er relevant for klimaændringerne, herunder grundlæggende klimaforskning, hvordan et klima i forandring påvirker samfundet og miljøet, samt de mange værktøjer og metoder, der findes til effektivt at tackle klimaændringerne. Rapporten er skrevet af et forfatterteam, bestående af medlemmer af den videnskabelige styringskomité for IARU-kongressen, og personer, som er blevet bedt om at bidrage for at give forfatterteamet akademisk og geografisk bredde. Rapporten er baseret på kongressens 16 plenumforedrag samt input fra flere end 80 chairs og co-chairs fra de 58 parallelsessioner, der blev afholdt på kongressen. Navnene på plenumtalerne samt chairs og co-chairs for parallelsessionerne fremgår af rapportens indvendige omslag. Forfatterteamet har ud over præsentationerne på kongressen anvendt nyere publikationer i den videnskabelige litteratur til denne synteserapport.

Rapporten er gennemgået kritisk af repræsentanter for Earth System Science Partnership (ESSP)<sup>ii</sup>, af parallelsessionernes chairs og co-chairs samt af op til fire uvildige forskere fra hvert IARU-universitet. Denne omfattende revisionsproces er gennemført for at sikre, at rapportens budskaber er solidt og nøjagtigt funderet på ny forskning siden IPCC's seneste rapport, og at de loyalt afspejler det internationale forskersamfunds nyeste arbejde med klimaændringerne.

<sup>i</sup> IARU (International Alliance of Research Universities): (<http://www.iaruni.org/>)  
Australian National University, University of California - Berkeley, University of Cambridge, University of Copenhagen, ETH Zürich, National University of Singapore, University of Oxford, Peking University, The University of Tokyo, Yale University.

<sup>ii</sup> ESSP ([www.essp.org](http://www.essp.org)) er et partnerskab mellem de internationale forskningsprogrammer Verdensprogrammet for Klimaforskning (WCRP), Det Internationale Geosfære-Biosfære-Program (IGBP), International Human Dimensions Programme for Global Change Research (IHDP) og det internationale program for biodiversitetsforskning DIVERSITAS.



# SAMMENFATNING

Tidligere samfund har reageret, når de forstod, at deres aktiviteter forårsagede skadelige ændringer i miljøet og derefter indført kontrol eller omlægninger af de ødelæggende aktiviteter. Der er nu overvældende videnskabelig evidens for, at menneskelige aktiviteter, navnlig forbrændingen af fossile brændstoffer, påvirker klimaet på måder, der truer menneskehedens trivsel og fortsatte udvikling. Hvis menneskeheden skal lære af historien og begrænse disse trusler, er tiden kommet til en stærkere kontrol af menneskelige aktiviteter, der ændrer de grundlæggende betingelser for livet på Jorden.

Blandt globale og nationale ledere og i offentligheden skal der udbredes en forståelse af, hvordan menneskelige aktiviteter ændrer klimaet og af

konsekvenserne af ukontrollerede klimaændringer, med det formål at iværksætte effektive kontrolforanstaltninger.

Formålet med denne rapport er at opdatere et bredt publikum om den nyeste indsigt i klimaændringer, der forårsages af menneskelige aktiviteter, disse ændrings sociale og miljømæssige konsekvenser, og de muligheder, som samfundet har for at reagere på de udfordringer, der følger af klimaændringerne.

Denne indsigt formidles via seks hovedbudskaber:

## HOVEDBUDSKAB 1: **KLIMATENDENSER**

Nyere observationer viser, at emission af drivhusgasser og mange klimaaspekter nærmer sig FN's Miljøpanels worst-case fremskrivninger. Mange centrale klimaindikatorer er allerede ved at overskride de naturlige variabilitetsmønstre, som nutidens samfund og økonomi har udviklet sig og trives i. Disse indikatorer omfatter den globale middelloverfladetemperatur, vandstandsstigningen, den globale havtemperatur, havisens udstrækning i Arktis, forsuringen af havet samt ekstreme klimatiske begivenheder. Hvis emissionerne fortsætter uformindsket, vil mange klimatiske tendenser med stor sandsynlighed accelerere og skabe en større risiko for pludselige eller varige klimaskift.

## HOVEDBUDSKAB 2: **SOCIALE OG MILJØMÆSSIGE FORSTYRRELSE**

Forskersamfundet leverer mange informationer, der underbygger diskussionerne om "farlige klimaændringer". Nyere observationer viser, at samfund og økosystemer er særdeles sårbare over for selv beskeden klimaændringer, og at fattige nationer og samfund, økosystemtjenester og biodiversitet er særligt udsatte. Moderne samfund vil have svært ved at klare temperaturstigninger på mere end 2° C, og de vil sandsynligvis forårsage store samfunds- og miljømæssige forstyrrelser i resten af dette århundrede og på endnu længere sigt.

## HOVEDBUDSKAB 3: **LANGSIGTET STRATEGI: GLOBALE MÅL OG TIDSPLANER**

Hurtig, vedvarende og effektiv forebyggelse baseret på koordinerede globale og regionale tiltag er nødvendig for at undgå "farlige klimaændringer", uanset hvordan de defineres. Nedsatte mål for 2020 øger risikoen for alvorlige følger, herunder overskridelse af tipping points, og gør opgaven med at nå målene for 2050 vanskeligere og dyrere. For at opnå effektiv forebyggelse er det vigtigt at fastsætte en troværdig langsigtet pris på kulstof og vedtage en politik, der fremmer energieffektivitet og lav-CO<sub>2</sub>-teknologier.

## HOVEDBUDSKAB 4:

## **RETFÆRDIGHEDSDIMENSIONER**

Klimaændringer vil nu og fremover ramme personer meget forskelligt i forskellige lande og regioner, i denne og fremtidige generationer samt i samfund og naturen. Der skal være et effektivt, velfunderet tilpasningssikkerhedsnet for dem, som er dårligst udrustet til at klare følgerne af klimaændringerne, og der skal indføres retfærdige forebyggelsesstrategier for at beskytte de fattige og mest sårbare. Takling af klimaændringerne skal ses som en integreret del af de bredere mål om styrkelse af den samfundsøkonomiske udvikling og lighed verden over.

## HOVEDBUDSKAB 5: **INGEN UNDSKYLDNING FOR IKKE AT HANDLE**

Samfundet har allerede nu mange værktøjer og metoder – økonomiske, tekniske, adfærdsmæssige og styringsmæssige – til effektivt at takle de udfordringer, der følger af klimaændringerne. Hvis disse værktøjer ikke implementeres slagkraftigt og bredt, vil tilpasningen til de uundgåelige klimaændringer og den samfundsmæssige omstilling, der er nødvendig for at dekarbonisere økonomierne, ikke kunne opnås. En koordineret indsats for at opnå effektiv og hurtig tilpasning og forebyggelse vil skabe en lang række fordele, såsom vækst i antallet af job inden for bæredygtig energi, reduktion i de sundhedsmæssige, sociale, økonomiske og miljømæssige omkostninger ved klimaændringerne samt reparation af økosystemer og fornyelse af økosystemtjenester.

## HOVEDBUDSKAB 6: **TAG UDFORDRINGEN OP**

Der skal overvindes en række væsentlige barrierer og gribes nogle vigtige muligheder, hvis den samfundsmæssige omstilling, der er nødvendig for at takle udfordringen fra klimaændringerne, skal opnås. Bl.a. kræves mindre træghed i de sociale og økonomiske systemer, udnyttelse af et voksende ønske i offentligheden om politisk handling i forhold til klimaændringerne, reduktion af aktiviteter, der øger emissionen af drivhusgasser og reducerer fleksibiliteten (f.eks. støtteordninger) samt skift fra ineffektiv regeringsførelse og svage institutioner til innovativt lederskab i den offentlige og private sektor og civilsamfundet. Hvis samfundet skal omstille sig til en mere bæredygtig udvikling, er det vigtigt at skabe en forbindelse mellem klimaændringer og et bredere bæredygtigt forbrug, produktionsovervejelser, menneskerettigheder og demokratiske værdier.

# AT LEVE MED MILJØMÆSSIGE BEGRÆNSNINGER

Jorden er omtrent fem milliarder år gammel. Mennesket har dog kun været på planeten i 0,004 % af den tid, mens det moderne menneske, *Homo sapiens*, udviklede sig for ca. 200.000 år siden. Der er sket dramatiske klimaændringer i Jordens lange historie. De tidlige mennesker oplevede – og en brøkdel af dem overlevede – nogle af disse dramatiske klimatiske begivenheder. Det er dog kun i de sidste 12.000 år – en periode, hvor Jordens klima har været forholdsvis varmt og stabilt – at mennesket virkelig har trives.

Under de stabile klimaforhold i denne periode opdagede mennesket, hvordan man dyrker planter og holder husdyr. Disse opdagelser, som fandt sted for ca. 10.000 år siden og i sidste ende skabte det moderne landbrug, ændrede på dramatisk vis forholdet mellem mennesket og planeten. De brød den tidligere naturlige begrænsning af antallet af mennesker og gjorde det muligt for flere at leve på samme tid på Jorden, end det før havde været muligt uden kontrol med føderessourcerne.

De første landbrugere kunne antageligt frit vælge jord. Da samfundet – mange tusinde år senere – opdagede, at ukontrolleret landbrug og udvikling kunne skade samfundet som helhed, blev der udarbejdet lokale regler for, hvordan og hvor, der måtte drives landbrug. Der var sandsynligvis heller ingen begrænsninger for vores tidlige forfædre for, hvordan de bortskaffede deres affald. Da befolkningstallet nåede et bestemt niveau, og ophobningen af affald blev set som et sundheds eller et forureningsmæssigt problem, blev der fastsat regler og indført

teknologier til at styre bortskaffelsen af affald. Et moderne eksempel på globalt håndhævede regler er Montreal-protokollen, hvor det internationale samfund i 1987 enedes om at reagere på videnskabelig evidens for, at visse industrigasser kan medføre en farlig nedbrydning af Jordens ozonlag.

I alle disse tilfælde blev kontrollen først indført, da der var en generel accept i samfundet af, at den fortsatte mangel på regler ville medføre uacceptable omkostninger. Dermed viser menneskehedens historiske forhold til miljøet, at når samfundet opdager, at en vis metode kan bringe dets medlemmers trivsel i fare, fastsættes der regler, love og andre strategier for at kontrollere den farlige metode.

Der er i dag overvældende videnskabelig evidens for, at en fortsat ukontrolleret emission af drivhusgasser fra menneskelige aktiviteter udgør en betydelig trussel for det moderne samfunds trivsel og fortsatte udvikling. Vores viden om, at menneskelige aktiviteter påvirker klimaet, giver det moderne samfund et ansvar for at handle. Det er nødvendigt, at omdefinere menneskets forhold til Jorden, og at styre de menneskelige aktiviteter, der påvirker klimaet, af hensyn til samfundets trivsel. Denne viden bør formidles bredt også uden for forskersamfundet for at fremme udviklingen af effektive tiltag. Formålet med denne rapport er at formidle forskersamfundets nyeste indsigt i klimaændringerne, deres konsekvenser og de tiltag, der er nødvendige for at takle dem effektivt, til et bredt publikum.

## HOVEDBUDSKAB 1

# KLIMATENDENSER

Nyere observationer viser, at emission af drivhusgasser og mange klimaaspekter nærmer sig FN's Miljøpanels worst-case fremskrivninger. Mange centrale klimaindikatorer er allerede ved at overskride de naturlige variabilitetsmønstre, som nutidens samfund og økonomi har udviklet sig og trives i. Disse indikatorer omfatter den globale middelloverfladetemperatur, vandstandsstigningen, den globale havtemperatur, havsens udstrækning i Arktis, forsuren af havet samt ekstreme klimatiske begivenheder. Hvis emissionerne fortsætter uformindsket, vil mange klimatiske tendenser med stor sandsynlighed accelerere og skabe en større risiko for pludselige eller varige klimaskift.

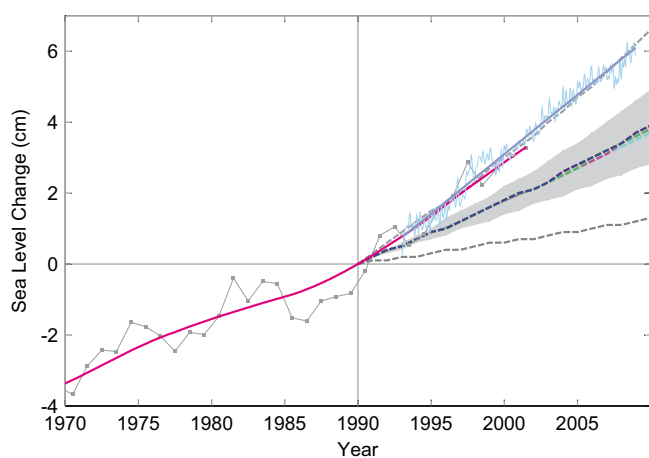
IPCC konkluderede i 2007<sup>2</sup>, at klimaændringerne er en realitet, og at Jorden bliver varmere. Desuden konkluderede IPCC, at der er mere end 90 % sandsynlighed for, at denne globale opvarmning primært skyldes menneskelige aktiviteter, og at de vigtigste af disse er emissionen af drivhusgasser og rydningen af naturlig vegetation. Rapporter, der sammenligner IPCC's fremskrivninger fra 1990 med observationer, har siden 2007 vist, at nogle klimaindikatorer nærmer sig worst-case fremskrivningerne eller – for vandstandsstigningernes vedkommende (figur 1) – har overskredet de rater, der er anført i IPCC's fremskrivninger. Hvis man skal kunne forstå betydningen af disse observationer, må man se på andre aspekter af klimaændringerne end blot opvarmningen af atmosfæren.

Klimaet styres i høj grad af den varme, der strømmer ind til og ud fra Jorden og lagringen af varme i jordsystemets forskellige områder – hav, jord, atmosfære, sne/is. Denne varme stammer i sidste ende fra solen. Det er kun en meget lille del af varmen, der lagres i atmosfæren (figur 2). Langt den største varmemængde, der er lagret på Jordens overflade, findes i havene. Varmestrømmen til havene foregår langsommere end til atmosfæren. En ændring i havtemperaturen, der afspejler en ændring i

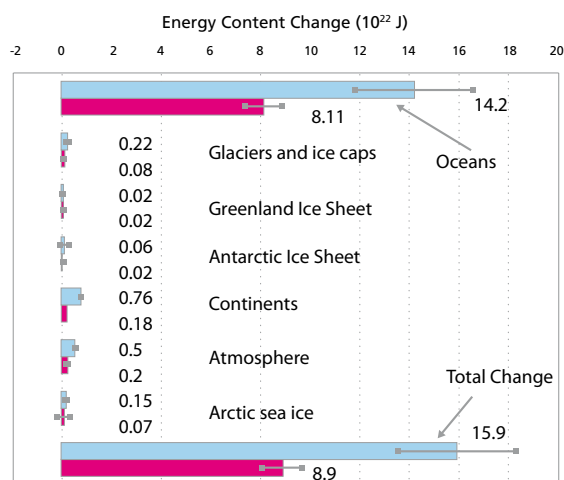
den varmemængde, som er lagret i havet, er en bedre indikator for en ændring i klimaet end ændringer i luftens temperatur set i lyset af, at havet lagrer så meget varme.

Figur 3 viser tendensen i luftens temperatur i de sidste årtier. 2008 var forholdsvis køligere end de seneste år, primært fordi solens magnetiske aktivitet (solpletaktivitet) var på et minimum, og fordi der var en La Niña-situation i 2007/2008. Ikke desto mindre er der en tydelig tendens til stigende temperaturer på langt sigt, og udviklingen af den atmosfæriske temperatur på Jordens overflade sker inden for IPCC's fremskrivninger.

Siden IPCC's sidste rapport er der offentliggjort opdaterede tendenser i havoverfladetemperaturen og varmeindholdet<sup>4,5</sup>. Disse reviderede estimater viser (figur 4), at havet er blevet signifikant varmere i de senere år. Aktuelle estimater viser, at havets opvarmning er omtrent 50 % højere end tidligere rapporteret af IPCC<sup>2</sup>. De nye estimater hjælper med til bedre at forklare den havstandstendens, der er observeret i de seneste årtier, eftersom de fleste observerede vandstandsstigninger indtil for nylig skyldtes havvandets varmeudvidelse.



**Figur 1**  
Ændring i vandstand fra 1970 til 2008 i forhold til vandstanden i 1990. De ubrudte linjer er baseret på observationer, der er udjævnet for at fjerne effekten af variabiliteten fra år til år (lyse linjer forbinder datapunkter). Data fra de seneste år er indhentet via satellitbaserede sensorer. IPCC's fremskrivninger er vist til sammenligning. De omfattede de stiplede linjer som enkeltfremskrivninger og det skraverede område som usikkerhed i fremskrivningerne<sup>3</sup>.



**Figur 2**  
Ændringen i energiindhold i forskellige komponenter af Jordens system i to perioder: 1961-2003 (blå bjælker) og 1993-2003 (lyserøde bjælker)<sup>2</sup> (figur 5.4).



# Ændringer i den grønlandske indlandsis

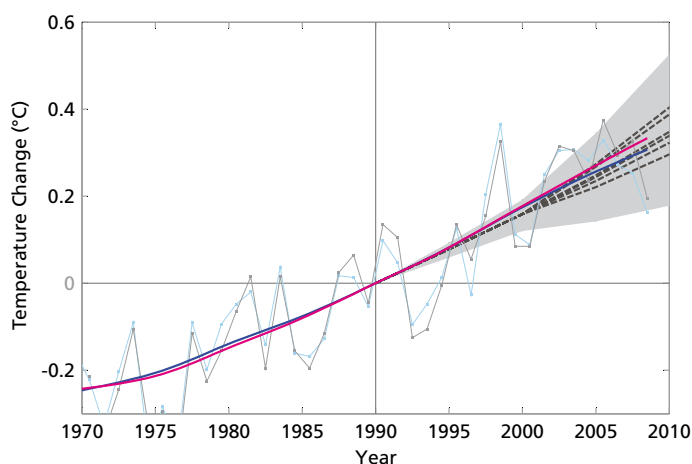
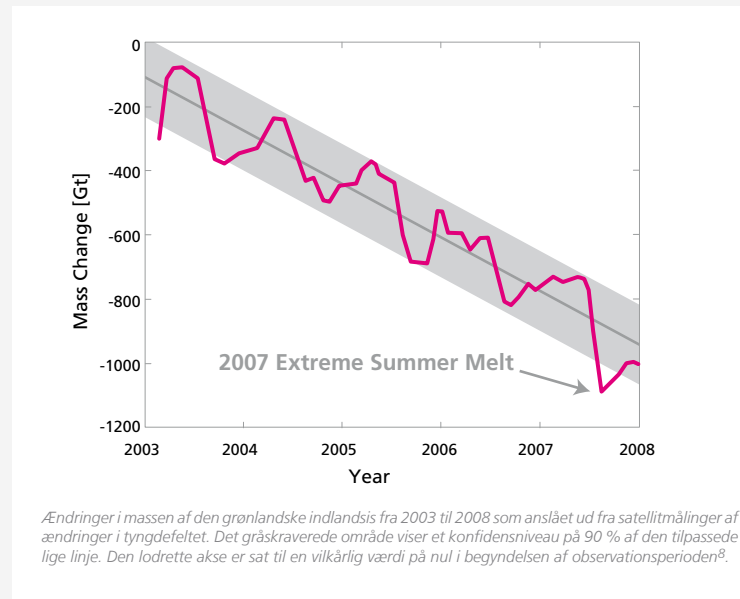
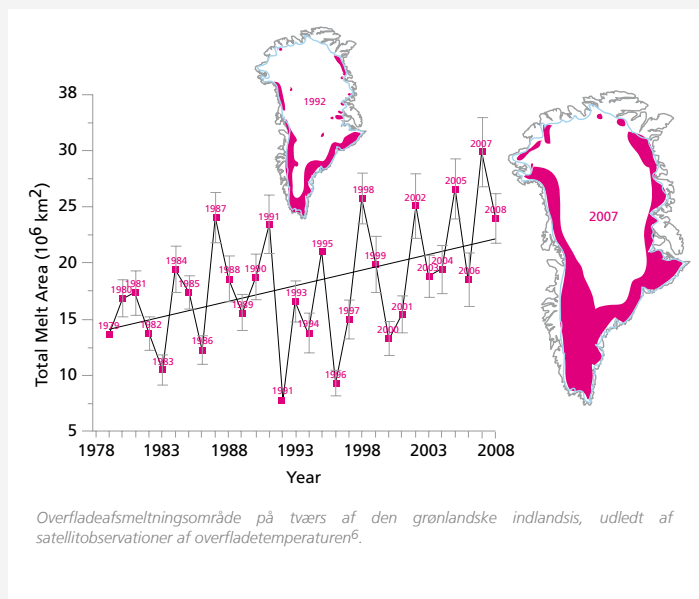
Prof. Dorte Dahl Jensen, [ddj@gfy.ku.dk](mailto:ddj@gfy.ku.dk) & dr. Konrad Steffen, [Konrad.Steffen@colorado.edu](mailto:Konrad.Steffen@colorado.edu)

BOKS 1

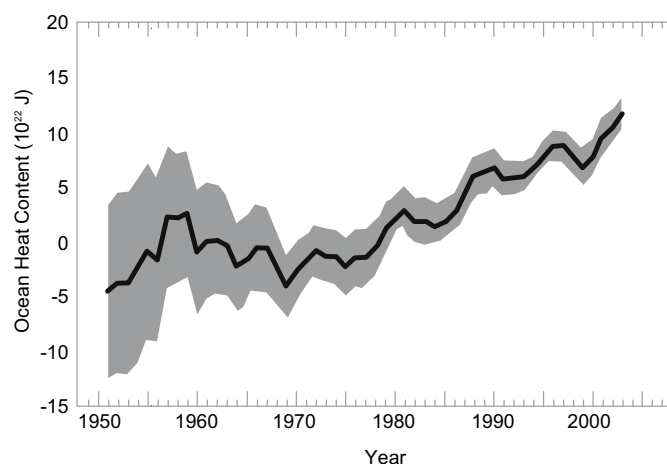
En øget afsmeltning af de store polare iskapper bidrager til den observerede vandstandsstigning. Observationer af det område af den grønlandske indlandsis, der har været på smeltepunktstemperatur mindst én dag i sommerperioden, er steget 50 % i perioden fra 1979 til 2008<sup>6</sup> (se figuren). Sommeren 2007 i Grønland var ekstremt varm. Hele det sydgrønlandske område nåede smeltepunktet den sommer, og smeltesæsonen begyndte 10-20 dage tidligere og varede op til 60 dage længere i Sydgrønland<sup>7</sup>.

Foruden afsmeltningen mister de store polare iskapper masse på grund af udrømningen af is, der også er følsom over for den regionale temperatur. Satellitmålinger af meget små tyngdekraftsændringer har revolutioneret muligheden for at beregne tab af

masse på grund af disse processer. Den anden tabel viser, at den grønlandske indlandsis har mistet masse med en hastighed på 179 Gt/år siden 2003. Denne hastighed svarer til et bidrag til den globale middelvandstandsstigning på 0,5 mm/år. Den aktuelle globale middelvandstandsstigning er 3,1 mm/år<sup>8</sup>. Massetabet i smelteområdet var særdeles stort for det exceptionelt varme år 2007. De nye observationer af det stigende massetab fra gletsjere, iskapper, den grønlandske indlandsis og iskapperne i Antarktis førte til forudsigelser om globale middelvandstandsstigninger på 1 m ( $\pm 0,5$  m) i løbet af det næste århundrede. De opdaterede estimater af den fremtidige globale middelvandstandsstigning er omtrent dobbelt så høje som IPCC's fremskrivninger fra 2007<sup>28</sup>.



Figur 3 Ændringer i overfladeluftens globale gennemsnitstemperatur (udjævnet over 15 år) (korrigeret fra 11 i rapportens første version) i forhold til 1990. Den blå linje repræsenterer data fra Hadley Center (det britiske meteorologiske kontor). Den røde linje er data fra GISS (NASA Goddard Institute for Space Studies, USA). De stiplede linjer er fremskrivninger fra IPCC's tredje evalueringsrapport, idet det skravrede område angiver usikkerheder ved fremskrivningerne<sup>3</sup> (data fra 2007 og 2008 tilføjet af S. Rahmstorf).



Figur 4 Ændring i havenes varmeindhold siden 1951 (observationer – sort linje) med usikkerheder (i grå skravering) i forhold til havets varmeindhold i 1961<sup>4</sup>.



Vandstandsstigningen er sket hurtigere i perioden fra 1993 til i dag (figur 1), i høj grad på grund af det voksende tab af is fra Grønland (boks 1) og Antarktis. Modeller for de polare iskapper er dog stadig i deres vorden, og derfor er fremskrivninger af vandstandsstigningen indtil 2100 baseret på sådanne "procesmodeller" behæftet med stor usikkerhed. En alternativ metode er at basere fremskrivninger på det observerede forhold mellem den globale gennemsnitlige temperaturstigning og vandsstandsstigningen i de seneste 120 år, hvor man forudsætter, at dette observerede forhold fortsætter fremover. Nye estimater baseret på denne metode tyder på en vandstandsstigning på ca. 1 meter eller mere i 2100<sup>16</sup> (åbningssession (S. Rahmstorf) og session 1).

Vandsstandsstigningen stopper ikke i 2100. Ændringer i havenes varmeindhold vil påvirke vandstandsstigningen i flere århundreder fremover. Afsmeltingen og tabet af is i Antarktis og Grønland vil også fortsætte i flere hundrede år. Dermed vil de klimaændringer, som nuværende generationer sætter i gang, direkte påvirke vores efterkommere langt ind i fremtiden. Rent faktisk vil den globale gennemsnitlige overfladetemperatur næsten ikke falde i de første tusind år efter nedsættelse af drivhusgasemissionerne til nul<sup>9,10</sup>.

En af de mest dramatiske udviklinger siden den sidste rapport fra IPCC<sup>1</sup> er den hurtige reduktion af isens udbredelse i Arktis om sommeren. I 2007 var det isdækkede mindsteareal ca. 2 millioner kvadratkilometer mindre end i tidligere år. I 2008 var reduktionen næsten lige så dramatisk<sup>11</sup>. Formindskelsen af isdækket spiller en stor rolle for klimaet på større skala, eftersom is og sne reflekterer det meste af solstrålingen tilbage til atmosfæren, mens havvand absorberer det meste af den solstråling, der rammer det. Isfrit hav absorberer mere varme end isdækket hav, således at tabet af is i Arktis skaber en "positiv tilbagekobling" i klimasystemet, der øger opvarmningen.

Hovedårsagen til det voksende varmeindhold på klodens overflade er de stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren<sup>2, 12</sup> (figur 5). Disse gasser forstærker "drivhuseffekten", der er en veldokumenteret og forstået fysisk proces i Jordens system – i lighed med tyngdekraften eller tidevandet. En proces, man har kendt siden det 19. århundrede. Det er den naturlige drivhuseffekt, der overhovedet gør Jorden beboelig. Drivhusgasser, såsom vanddamp, kuldioxid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) og lattergas (N<sub>2</sub>O) i atmosfæren absorberer den varme, der forlader Jordens overflade, så der fastholdes mere varme i nærheden af Jordens overflade. Uden den naturlige drivhuseffekt ville Jordens gennemsnitstemperatur være ca. -19° C, dvs. ca. 34° C koldere end i dag. Alle planeter med varmeabsorberende gasser i atmosfæren har en drivhuseffekt. Den ekstreme overfladetemperatur (440° C) på Venus kan f.eks. kun forklares med planetens høje koncentration af CO<sub>2</sub>.

Når mængden af drivhusgasser i atmosfæren ændres, påvirker det drivhuseffektens størrelsesorden. Vanddamp er den mest almindelige drivhusgas og bidrager mest til den naturlige drivhuseffekt på Jorden.

Eftersom atmosfærens evne til at rumme vanddamp i høj grad afhænger af temperaturen, reguleres mængden af vanddamp i atmosfæren af Jordens temperatur, som stiger i takt med opvarmningen. Dette betyder, at vanddamp følger og forstærker ændringer i den globale temperatur, der skyldes andre årsager. Menneskelige aktiviteter har ikke haft en signifikant effekt på de globale nettostrømme af vanddamp til/fra atmosfæren<sup>16</sup> (session 3), selvom de lokalt har ændret disse strømme ved f.eks. skovrydning eller etablering af kunstvanding.

Situationen er meget anderledes for nogle af de andre drivhusgasser, hvor menneskets emissioner har en direkte virkning. Atmosfærens koncentrationer af CO<sub>2</sub> samt metan og lattergas er steget dramatisk i løbet af de seneste årtier som følge af menneskelige aktiviteter. Iskerne- og sedimentprøver viser, at koncentrationen af alle disse gasser i atmosfæren nu er højere end længe før det moderne menneskets udvikling. Faktisk har CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfæren ikke været væsentligt højere, end den er i dag, i mindst de sidste 20 millioner år af Jordens historie<sup>17</sup>.

Den opvarmning, der er forårsaget af de øgede drivhusgaskoncentrationer, forstærkes af tilbagekoblinger. Det er processer, der fremkaldes af klimaændringer, og som dernæst forårsager yderligere opvarmning. Ud over de ovenfor beskrevne tilbagekoblinger fra havisen i Arktis og fra vanddamp hænger en anden, meget vigtig tilbagekobling sammen med naturlige "kulstofdræn" – processer, der absorberer CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Ikke al den menneskeskabte CO<sub>2</sub>, der frigives til atmosfæren, bliver der. Mere end halvdelen af den CO<sub>2</sub>, der udledes til atmosfæren ved forbrænding af fossile brændstoffer og ændret jordanvendelse, optages af CO<sub>2</sub>-dræn på landjorden og i havet. Den brøkdel af menneskeskabte CO<sub>2</sub>-emissioner, som disse dræn fjerner, er faldet i de sidste 50 år<sup>12</sup>, og der er evidens for, at denne brøkdel vil falde yderligere i de kommende årtier i scenarierne med høje emissioner i fremtiden<sup>12</sup> (boks 2). Hvis denne svækkelse af de naturlige CO<sub>2</sub>-dræn fortsætter, forbliver en større brøkdel af emissionerne i atmosfæren, hvilket kræver en større reduktion af emissionerne for at opnå de specifikke mål for CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfæren.

Andre vigtige følger af klimaændringer er den observerede stigning i ekstreme begivenheder – hedeølger, storme og oversvømmelser<sup>2</sup>. Desuden hænger det regionale klima ofte direkte sammen med særlige mønstre i klimavariabilitet, såsom monsunsystemer, og disse mønstre kan igen være påvirket af det varmere klima<sup>16</sup> (session 3),<sup>19</sup>. Ændringer i ekstreme begivenheder og i de naturlige variabilitetsmønstre kan have dramatiske følger for samfund, som er blevet vant til eller afhængige af bestemt temperatur-, vind- og regnmønstre i bestemte regioner. Det næste afsnit handler om nogle af de følger og risici, som klimaforstyrrelser skaber for samfundet.

## Den globale kulstofcyklus

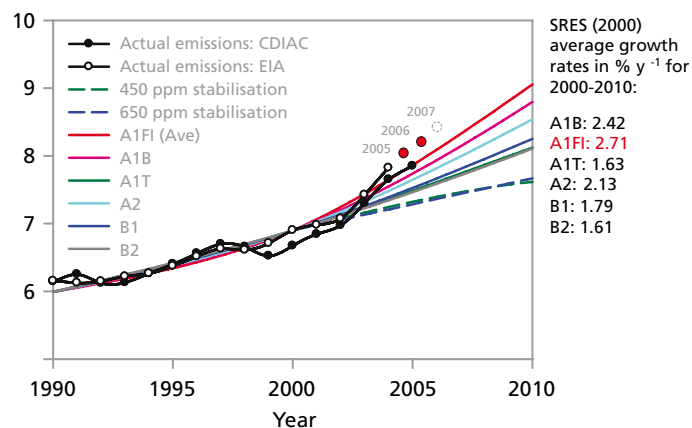
Dr. Michael R. Raupach, [Michael.Raupach@csiro.com](mailto:Michael.Raupach@csiro.com), prof. Nicolas Gruber, [nicolas.gruber@env.ethz.ch](mailto:nicolas.gruber@env.ethz.ch) dr. Josep G. Canadell, [Pep.Canadell@csiro.au](mailto:Pep.Canadell@csiro.au)

BOKS 2

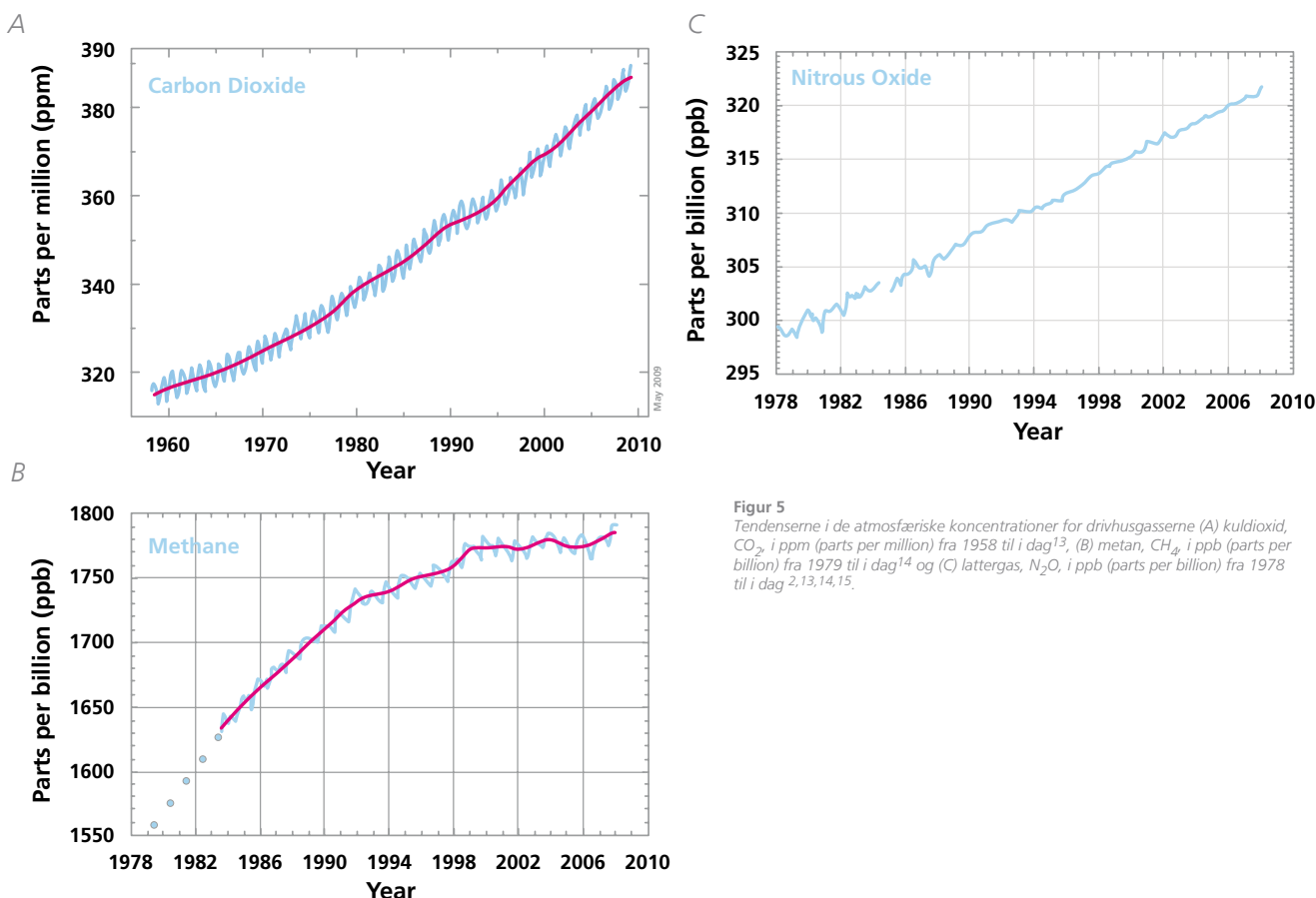
Den globale kulstofcyklus er i stærkt uligevægt på grund af tilførslen af CO<sub>2</sub> til atmosfæren fra forbrændingen af fossile brændstoffer og ændret jordanvendelse. Fossile brændstoffer tegner sig i øjeblikket for ca. 85 % af de samlede emissioner og den ændrede jordanvendelse for 15 %. De samlede emissioner er vokset eksponentielt med ca. 2 % om året siden 1800. Emissionerne fra fossile brændstoffer er dog accelereret siden 2000 til en vækst på ca. 3,4 % om året. Dette er en observeret vækstrate i nærheden af worst-case fremskrivningerne i IPCC's scenarier. De samlede CO<sub>2</sub>-emissioner tegner sig for 2/3 af væksten i al strålingsbalance fra drivhusgasserne.

Uden CO<sub>2</sub>-dræn, der fjerner og lagrer CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, ville de samlede menneskelige CO<sub>2</sub>-emissioner siden 1800 have forårsaget en stigning i atmosfærens CO<sub>2</sub> fra den præindustrielle værdi på 280 ppm til næsten 500 ppm. Uligevægten i kulstofcyklussen betyder, at den menneskelige tilførsel af CO<sub>2</sub> fordeles mellem kulstoflagre i atmosfæren, på landjorden og i havet. Dermed har CO<sub>2</sub>-dræn på landjorden og i havet konsekvent optaget mere end halvdelen af de samlede CO<sub>2</sub>-emissioner siden 1800, og den faktiske CO<sub>2</sub>-akkumulering i atmosfæren har kun hævet CO<sub>2</sub>-koncentrationen til 385 ppm (en vækst på ca. 2 ppm om året). Disse naturlige CO<sub>2</sub>-dræn er dog sårbare over for klimaændringer og ændret jordanvendelse: De vil højst sandsynligt aftage i fremtiden som følge af flere effekter, herunder stigende forurening af havet, ændringer i havstrømmene samt vand-, temperatur- og næringsstofbegrænsninger af Jordens optag af CO<sub>2</sub>. Tidligere inaktive kulstoflagre kan også mobiliseres og frigives til atmosfæren enten som CO<sub>2</sub> eller metan, der er en kraftigere drivhusgas. Der er grund til bekymring over bl.a. CO<sub>2</sub> lagret i tropiske tørvemoser, der er sårbare over for landdrydning og dræning, og de store lagre af organisk kulstof i permafrosten i Arktis, der er sårbare over for opvarmning.

Ny forskning er ved at kvantificere den forstærkende effekt af disse sårbarheder på klimaændringerne. Der er stigende sikkerhed for, at nettoresultat vil forstærke stigningerne i atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub> og metan indtil 2100 og dermed forstærke klimaændringerne. Forstærkningsfaktoren er svær at beregne, og de bedste aktuelle estimater går fra omkring nul til over 50 %. I IPCC's<sup>1</sup> A2-emissionsscenarie, der forudsiger en global opvarmning på ca. 4° C uden kulstoftilbagekoblinger på klimaet, forudsiges yderligere 0,1 til 1,5° C ud fra landjords- og havdrænenes sårbarhed. Den yderligere effekt af accelererede emissioner af metan og CO<sub>2</sub> fra permafrost, der tør, kan potentielt være meget signifikant, men er endnu ikke kvantificeret.



Observerede CO<sub>2</sub>-emissioner fra fossile brændstoffer og industrien<sup>18</sup> sammenlignet med et gennemsnit af 6 scenariegrupper fra IPCC's specialrapport om emissionsscenarier (farvede linjer) og viften af alle individuelle scenarier (gråt skraveret område). Emissionsdataene kommer fra to kilder: CDIAC (Carbon Dioxide Information and Analysis Center) og Det Internationale Energiagentur IEA. Figuren er opdateret med de nyeste tilgængelige data ([www.globalcarbonproject.org](http://www.globalcarbonproject.org)) siden rapportens oprindelige offentliggørelse.



Figur 5  
Tendenserne i de atmosfæriske koncentrationer for drivhusgasserne (A) kuldioxid, CO<sub>2</sub>, i ppm (parts per million) fra 1958 til i dag<sup>13</sup>, (B) metan, CH<sub>4</sub>, i ppb (parts per billion) fra 1979 til i dag<sup>14</sup> og (C) lattergas, N<sub>2</sub>O, i ppb (parts per billion) fra 1978 til i dag<sup>2,13,14,15</sup>.

## HOVEDBUDSKAB 2

# SOCIALE OG MILJØMÆSSIGE FORSTYRRELSE

Forskersamfundet leverer mange informationer, der underbygger diskussionerne om "farlige klimaændringer". Nyere observationer viser, at samfund og økosystemer er særdeles sårbare over for selv beskedne klimaændringer, og at fattige nationer og samfund, økosystemtjenester og biodiversitet er særligt udsatte. Moderne samfund vil have svært ved at klare temperaturstigninger på mere end 2° C, og de vil sandsynligvis forårsage store samfunds- og miljømæssige forstyrrelser i resten af dette århundrede og på endnu længere sigt.

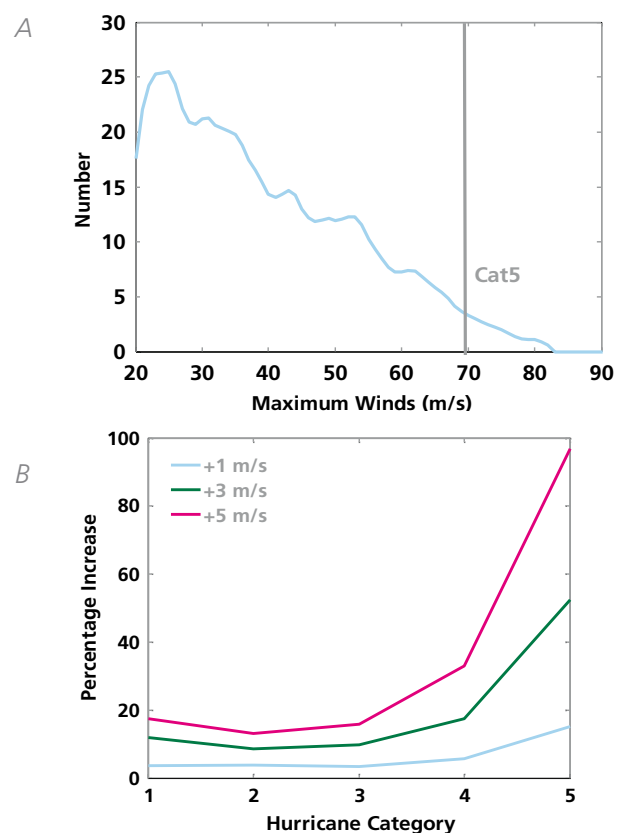
Definitionen af "farlige klimaændringer" er i sidste ende en værdiurdering, som samfundet som helhed skal fastsætte. Der er mindst tre forskellige vigtige overvejelser: (i) de negative effekter for mennesker og økosystemer, der sker på forskellige niveauer af klimaændringerne, (ii) omfanget af de negative følger, som samfundene er villige til at tolerere, og (iii) omfanget af klimaændringer, hvor såkaldte tipping points (tærskler) kan komme til at blive overskredet, så ændringerne ikke længere er lineære og reversible, men pludselige, store og potentielt irreversible i tidsrammer, der er relevante for det moderne samfund. Der synes i øjeblikket kun at være beskeden diskussion og debat om dette<sup>16</sup> (session 39), selvom den videnskabelige forskning har leveret et væld af kritiske oplysninger, der er relevante for disse diskussioner.

Selvom der endnu ikke findes nogen global konsensus om, hvilken grad af klimaændringer der kan defineres som "farlige", er der voksende enighed om<sup>20</sup> at holde stigningen i den globale temperatur på maksimalt 2° C over det præindustrielle niveau. Dette kaldes ofte "2° C-værnet". IPCC<sup>21</sup> samt nyere videnskabelig forskning<sup>31</sup> tyder på, at der kan være signifikante følger selv ved temperaturstigninger på mindre end 2° C, selvom visse samfund kan klare nogle af disse følger med proaktive tilpasningsstrategier. Med en stigning på over 2° C falder samfundets og økosystemernes tilpasningsmuligheder hurtigt i takt med en stigende risiko for social uro på grund af følger for sundheden, vandmangel og fødevarer sikkerhed.

En af de bedste indikatorer for klimaændringernes samfunds konsekvenser er menneskets sundhed og trivsel (boks 3). Den hidtil observerede temperaturstigning på ca. 0,7° C påvirker allerede sundheden i mange samfund. Det voksende antal ekstreme vejrbegebenheder, såsom hedeølger, oversvømmelser og storme, medfører et voksende dødstal og personskader forårsaget af klimarelaterede naturkatastrofer<sup>1</sup>. Ud over de direkte sundhedskonsekvenser påvirker klimaændringer også sundhedens underliggende bestemmende faktorer – mængden og kvaliteten af mad, vandressourcer og økologisk kontrol af sygdomsvektorer<sup>16</sup> (session 14).

Sammenhængen mellem klimaændringer, menneskets sundhed og vandsystemer er særligt stor. Hvad angår sundheden, kan klimaændringernes konsekvenser for vandsystemerne allerede ses i mange dele af verden, og konsekvenserne vil sandsynligvis tage til i flere årtier, uanset fremtidige aftaler om at mindske emissionerne af

drivhusgasser (boks 4). For eksempel medfører tørke og udtørring social ustabilitet, fødevarer sikkerhed og langsigtede sundhedsproblemer i nogle områder, hvor eksistensgrundlaget allerede nu har lidt skade eller er blevet fjernet<sup>16</sup> (session 14). Den slags konsekvenser medfører ofte en strategi baseret på overlevelse på kort sigt på bekostning af



Figur 6  
(A) Antallet af tropiske orkaner i Nordatlanten for hver maksimal vindhastighed vist på den vandrette akse. De kraftigste tropiske orkaner (kategori 5) har en maksimal vindhastighed på 70 m/s eller større. (B) Den proportionale stigning i orkanekategori (1 – mindst kraftig, 5 – mest kraftig) ud fra stigninger i de maksimale vindhastigheder på 1, 3 og 5 m/s. Læg mærke til den uforholdsmæssigt store stigning i de kraftigste tropiske orkaner med beskedne stigninger i den maksimale vindhastighed sammenlignet med stigningen i mindre kraftige orkaner<sup>23</sup>.

## Klimaændringernes virkninger på menneskets sundhed og trivsel

Prof. Anthony McMichael, [Tony.McMichael@anu.edu.au](mailto:Tony.McMichael@anu.edu.au) & dr. Roberto Bertolini, [Bertolinir@who.int](mailto:Bertolinir@who.int)

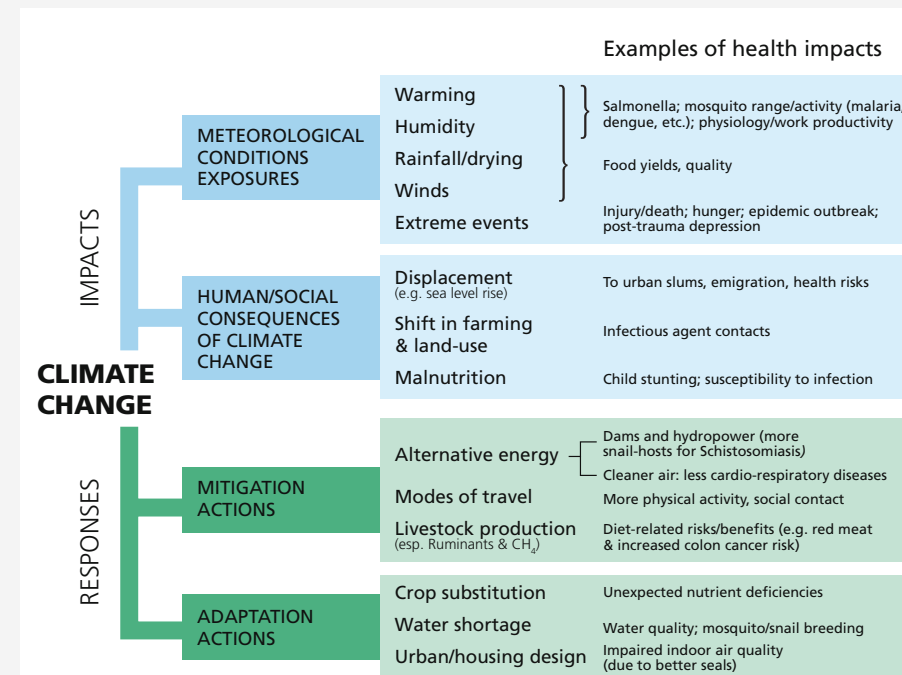
BOKS 3

De alvorlige og stadig mere tydelige risici, som klimaændringerne indebærer for menneskets sundhed, understreger de potentielt dybtgående konsekvenser for Jordens "livsbevarende systemer". Dette "vitale tegn" bør motivere til handling fra regerings side. Lavindkomstbefolkninger og geografisk sårbare befolkninger er mest truet. Disse befolkninger har kun bidraget i beskedent omfang til problemet, men er alligevel udsat for en stor del af sundhedsrisikoen.

Risiciene skyldes direkte belastninger (f.eks. hedeølger, vejrkatastrofer, dehydrering af arbejdssteder), økologiske forstyrrelser (f.eks. ændrede mønstre for smitsomme sygdomme), forstyrrelse af økosystemer, som menneskeheden er afhængige af (f.eks. sundhedsmæssige følger af lavere fødeudbytte), flytning af befolkninger samt konflikter om udtømte ressourcer (vand, frugtbar jord, fiskeri). Afsmeltning af isklapperne kan frigøre de kemiske forurenende stoffer, der er bundet i isen, til det marine fødenet.

Mange specifikke konsekvenser kan forudsiges eller – i nogle tilfælde – observeres nu. Modelstudier tyder på, at en stigning på 2° C kan forårsage reduktioner af kornudbyttet med 5-20 % i Sydøstasien, Sydøstasien og landene syd for Sahara, hvilket væsentligt vil forværrer underernæring og have skadelige konsekvenser for sundheden (især børns fysiske og intellektuelle udvikling). I mange bybefolkninger ville en stigning på 2° C skønsmæssigt medføre en fordobling eller mere af den årlige dødelighed som følge af hedeølger. En stigning på 2° C ville give en stigning på 50-100 % i det geografiske område for potentiel overførsel af schistosomiasis (der overføres via vandsneglen) i Kina, hvilket vil være en trussel for mange millioner mennesker. Nyere erfaringer fra kystnære områder i Alaska viser, at en stigning på 1° C i vandtemperaturen ved overskridelse af en tærskel muliggjorde en hastig formering om sommeren af en bakterie hos skaldyr og førte til mave-tarmkatarr hos forbrugere.

Der er allerede nu behov for sundhedsbeskyttende tilpasningsstrategier, både når det gælder aktuelle og forventede fremtidige



risici. Verdenssundhedsorganisationen WHO hjælper medlemsstaterne med deres tiltag, hvilket fører til en formel standardiseret sundhedsrisikovurdering på landeniveau og en planlægning af tilpasningsstrategien i forhold til klimaændringerne. Samtidig kan der være sundhedsfremmende fordele ved mange forebyggelsesaktiviteter som følge af forbedret luftkvalitet, fysiske aktivitetsmønstre og kostbalance<sup>16</sup> (session 14).

## Vandressourcer og klimaændringer: Opbygning af fleksibilitet mod en bæredygtig fremtid

Maria Carmen Lemos, [lemos@umich.edu](mailto:lemos@umich.edu) & prof. Torkil Jøneh Clausen, [tjc@dhigroup.com](mailto:tjc@dhigroup.com)

BOKS 4

Klimaændringer påvirker ofte samfundet via vandsystemet, direkte og indirekte, ved en kombination af ændringer i vandtilgængelighed, tiltagende oversvømmelser og tørke samt vandstandstigninger og storme. Disse konsekvenser finder sted allerede nu og påvirker de fattigste og underprivilegerede mennesker og lande mest. Mange af disse konsekvenser vil accelerere, uanset fremtidige aftaler og handlinger med henblik på at reducere emissionerne. Der er i dag viden nok til at begynde opbygningen af tilpasningskapacitet blandt sårbare befolkninger og økosystemer. Men vi skal forbedre vores viden om og muligheder for at modellere de fysiske, sociale og miljømæssige processer, der påvirker vandsystemers fleksibilitet, hvis vi skal sikre bærbare løsninger for fremtiden. God regeringsførelse er vigtig for en vellykket tilpasning på basis af integrerede tilpasningsmetoder fra samfunds niveau til flodbækkener på tværs af grænserne. Behovet for åben og transparent udveksling af data, information og viden blandt alle implicerede er altafgørende<sup>16</sup> (session 29).



Foto: John McConico

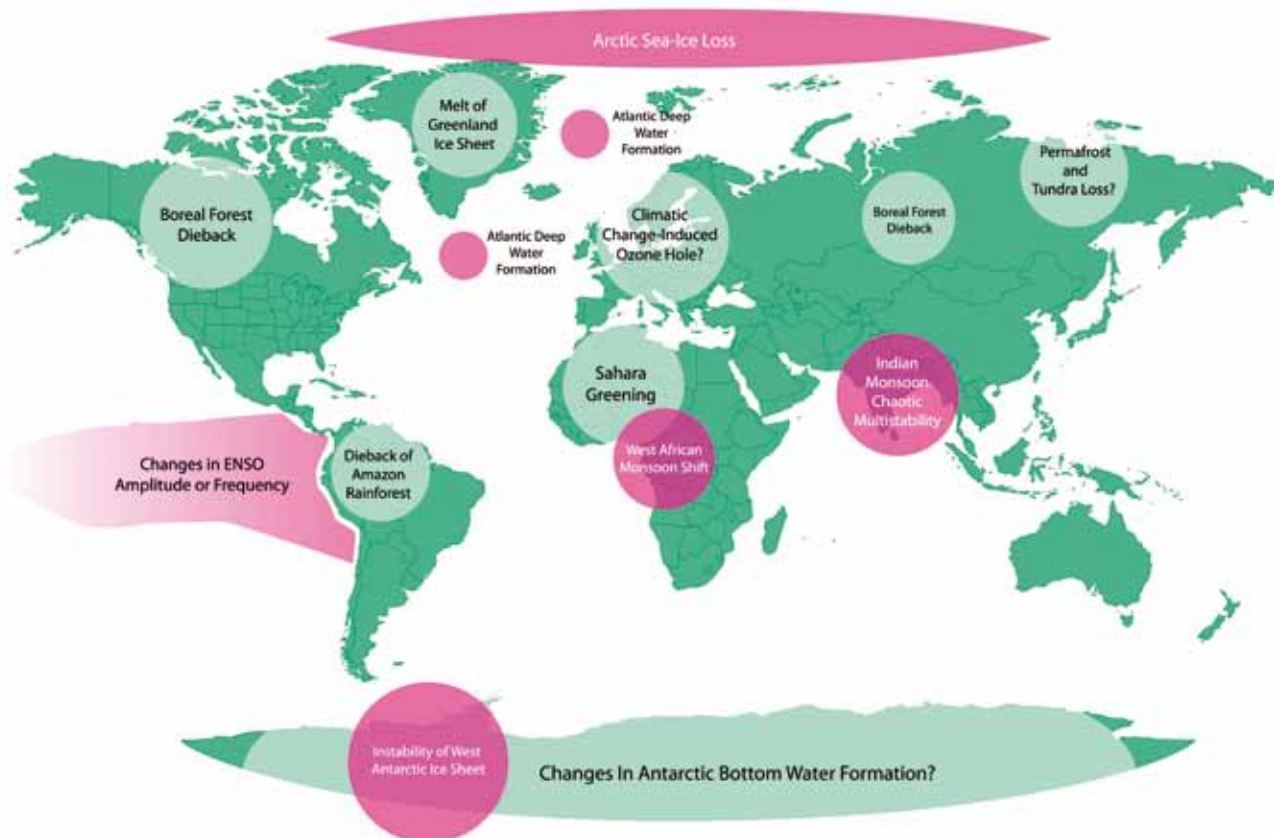
tilpasning på længere sigt. Ikke desto mindre er der akut behov for tilpasningsforanstaltninger nu for at mindske konsekvenserne af klimaændringerne. I betragtning af de betydelige usikkerheder ved fremskrivninger af klimakonsekvenser for vandressourcer på lokalt og regionalt plan vil opbygning af fleksibilitet, styring af risici og indføring af tilpasningsstyring sandsynligvis være de mest effektive tilpasningsstrategier<sup>16</sup> (session 29). Selv med effektiv tilpasning vil konsekvenserne for vandressourcerne i mange dele af verden være alvorlige ved klimaændringer, der er forbundet med temperaturstigninger på kun 1,0 til 1,5° C<sup>23</sup>.

Vandressourcer er også et voksende problem i byområder. Manglen på rent vand i mange af de nye megabyer, hvor der bor 10 millioner eller

flere, ofte fattige, er allerede nu et alvorligt problem. I mange tilfælde forværrer presset på vandforsyningerne af ændringer i regnmønstre og vandtilgængelighed på grund af klimaændringerne. En fortsat strøm af mennesker til disse nye megabyer, hvoraf nogle flygter fra udtørrende jorder i de omliggende områder, forstærker vandbelastningen yderligere.

Mange af de mest skadelige virkninger af klimaændringerne er forbundet med ekstreme begivenheder – meget intensive, forholdsvis sjældne begivenheder som orkaner og storme – snarere end med langsomme stigninger i klimaparametrenes middelværdier. Derudover kan ekstreme begivenheder som følge af klimaændringerne blive endnu "mere ekstreme". Antallet af de kraftigste og mest destruktive orkaner





Figur 7

Kort over potentielle klimatiske "tipping elements". Tipping elements er klimaelementer på regionalt plan, der kunne udvise en tærskelagtig adfærd som reaktion på menneskeskabte klimaændringer, dvs. at en lille klimaændring på et kritisk tidspunkt kunne udløse en pludselig og/eller irreversibel forskydning af dette

tipping element. Følgerne af sådanne forskydninger af et tipping element for samfund og økosystemer vil sandsynligvis være alvorlige. Spørgsmålstegn angiver systemer, hvis status som tipping elements er særligt uvis<sup>27, 30</sup>.

(kategori 5) kan for eksempel fordobles, selv ved en beskeden stigning i overfladevindhastigheden på 5 meter pr. sekund i tropiske orkaner, eventuelt med en stigning på blot 1° C i havtemperaturen, mens forekomsten af mindre kraftige orkaner ikke ville stige nær så meget (figur 6). Observationer fra det seneste årti i Nordatlanten, hvor antallet af kategori 5-orkaner er steget med 300-400 %, underbygger denne analyse<sup>24</sup>. Følgerne af disse begivenheder for kystnære samfund verden over, fra små fiskerlandsbyer på atollerne i Stillehavet til megabyer i de kinesiske floddeltaer, kan være alvorlige, især hvis de kobles sammen med vandstandsstigningen og en række lokale faktorer, der øger sårbarheden.

Den stigende akkumulering af CO<sub>2</sub> i atmosfæren har stor indflydelse på de marine økosystemer, fordi den øger havenes surhedsgrad (boks 5). Selvom de præcise effekter af forsuren af havet endnu ikke er klarlagt, forventes de organismer, der producerer calciumcarbonat, at være særligt sårbare. Dyr såsom koraller kan være særligt truede – måske endda med udryddelse – i løbet af det næste århundrede, hvis atmosfærens koncentrationer af CO<sub>2</sub> fortsat stiger. Geologiske data tyder på, at det sandsynligvis ville tage økosystemet hundredtusinder, om ikke mange millioner år at komme sig over en sådan ændring i havets surhedsgrad, selvom en egentlig genopretning er umulig, fordi udryddelserne er irreversible<sup>10</sup>.

Klimaændringer påvirker biodiversiteten på et overordnet niveau og også de mange goder, som mennesket får ud af forskelligartede og velfungerende økosystemer. En biodiversitetskatastrofe lurer, hvis den

globale middeltemperatur stiger over 2° C-værnet, forsuren af havet breder sig, og vandstandsstigningen tager til<sup>26</sup>. Disse klimarelaterede stress-faktorer vekselsvirker med en lang række eksisterende stress-faktorer for biodiversiteten. Katastrofen vil komme til udtryk som udryddelse af en signifikant del af de biologiske arter i løbet af de næste 100 år, der vil blive væsentligt færre af dem og en højere risiko for udryddelse af andre arter samt forringelse af økosystemtjenester (boks 6). Begrænsning af temperaturstigningen til 2° C eller derunder og hurtig implementering af en stærk og proaktiv tilpasning af bevaringspolitikken og -styringen kan begrænse omfanget af krisen, men kan ikke helt fjerne den<sup>16</sup> (session 31).

Estimer af klimaændringernes følger for centrale områder såsom vandressourcer og biodiversitet og for mere integrative livskvalitetsområder såsom sundhed, er almindeligt anvendte metoder ved definition af farlige klimaændringer. Nyere forskning i "tipping elements" i Jordens system giver et andet mål for, hvilke farlige konsekvenser for menneskeheden uformindskede klimaændringer kan have<sup>27</sup>. Tipping elements forekommer, når en lille ændring af en vigtig variabel, f.eks. temperaturen, forårsager en hurtig og uventet stor ændring i et klimaelement, der ændrer dets tilstand eller adfærdsmønster.

Figur 7 viser placeringen af en række af disse tipping elements, hvor udløsning af blot ét af disse ville medføre samfundsmæssige forstyrrelser for et meget stort antal mennesker. De viste tipping elements kan komme til at blive udløst i dette århundrede af menneskeskabte

## Forsuring af planeten Jorden

Dr. Carol Turley, [CT@pml.ac.uk](mailto:CT@pml.ac.uk) & prof. Mary Scholes, [Mary.Scholes@wits.ac.za](mailto:Mary.Scholes@wits.ac.za)

BOKS 5

Forsuring af planeten Jordens land- og havbiosfærer finder sted allerede nu og forårsages af to meget forskellige antropogene kilder.

Forsuring af landjorden skyldes salpeter- og svovlsyre, og mens betydningen heraf blev åbenlys i løbet af 1970'erne, er det stadig et problem i industrilandene og et voksende problem i udviklingslandene. Forsuring af landjorden medfører ændringer af artsdiversiteten, primær nettoproduktivitet, ubalance mellem uorganiske nitrogenioner i Jorden samt eutrofiering (overgødskning) af ferskvandsmasser. Der foreligger ikke megen forskning i eller viden om tilbagekoblingerne mellem jord- og vandsystemer.

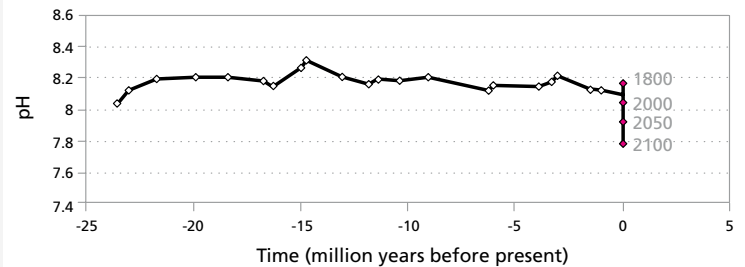
Forsuring af havet er en direkte og indiskutabel følge af CO<sub>2</sub>-emissioner til atmosfæren. Dens følger for verdenshavene er først nu ved at vise sig. Havene har allerede optaget ca. 27-34 % af den CO<sub>2</sub>, som menneskeheden har produceret siden den industrielle revolution. Selvom dette har begrænset mængden af CO<sub>2</sub> i atmosfæren, er det sket på bekostning af en dramatisk ændring i havets kemi. Navnlige de observerede ændringer i havets pH-værdi og koncentrationerne af karbonat og bikarbonat giver anledning til stor bekymring.

Evidens tyder på, at forsuringen af havet er en alvorlig trussel mod mange organismer, og at den kan påvirke fødenet og økosystemer foruden de værdifulde tjenester, de leverer. Erosionen vil for eksempel sandsynligvis overhale væksten i de tropiske koralrev med 450-480 ppm CO<sub>2</sub>. Der rapporteres allerede om et fald på 19 % i koralvæksten i Great Barrier Reef.

Når den atmosfæriske CO<sub>2</sub> når 450 ppm, vil store områder af polarhavene sandsynligvis være blevet ætsende for skallerne af de vigtige kalkdannende organismer i havet – en

effekt, der vil være stærkest i Arktis. Der er allerede observeret en nedgang i skalvægten af kalkdannende planktonorganismer i Antarktis. En faldende pH-værdi kunne også gøre havene mere støjende i det hørlige område med mulige konsekvenser for livet i havet og for de videnskabelige, erhvervmæssige og flådemæssige anvendelser, der benytter havakustik.

Havets kemi ændrer sig meget hurtigt (se figuren) – hurtigere end tidligere udryddelser forårsaget af forsuring af havet i Jordens historie, som det tog havets økosystemer hundretusinder af år at overvinde. Forsuringen af havet vil fortsat følge fremtidige CO<sub>2</sub>-emissioner til atmosfæren, og derfor kan konsekvenserne af forsuringen af havet kun reduceres med øjeblikkelige og betydelige reduktioner af emissionerne.



Havets surhedsgrad (pH) i de sidste 25 millioner år og fremskrevet til 2100<sup>25</sup>. Jo lavere pH, jo større forsuring af havet.

## Biodiversitet og klimaændringer: Resultater af Millennium Ecosystem Assessment

Prof. Harold Mooney, [hmooney@stanford.edu](mailto:hmooney@stanford.edu) & dr. Anne Larigauderie, [anne@diversitasinternational.org](mailto:anne@diversitasinternational.org)

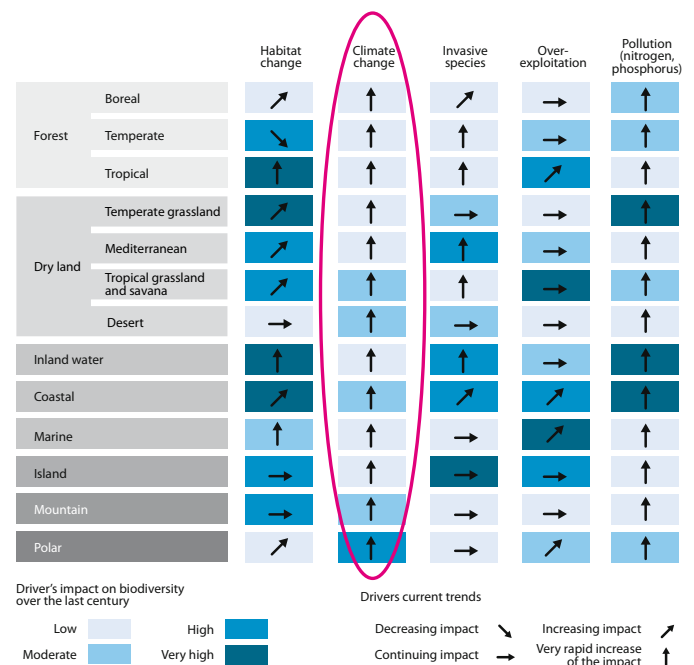
BOKS 6

Mennesket har i de sidste 50 år ændret økosystemer hurtigere og mere omfattende end i nogen anden periode af menneskets historie. Dette har medført et væsentligt og overvejende irreversibelt tab af biodiversitet på Jorden. Udbredelsen af forstyrrede økosystemer og den hastige udbredelse af eksotiske invasive arter betyder, at fordelingen af arter på Jorden bliver mere ensartet. Samtidig har mennesket øget udryddelsesraten af arter med helt op til 1.000 gange i forhold til de baggrundsrate, der har været typiske i planetens historie. Det skyldes den direkte anvendelse og de indirekte konsekvenser af jordanvendelse, såsom habitatstab og fragmentering af landskabet. Det er f.eks. i øjeblikket 10-30 % af alle pattedyrs-, fugle- og paddearter, som er truet af udryddelse. Generelt øger ændringer i økosystemer sandsynligheden for ikke-lineære ændringer med væsentlige følger for menneskets trivsel. Foruden indtrængen og tab af arter omfatter disse ændringer kollaps af fiskeriet, eutrofiering og iltmangel i ferskvandssystemer, fremkomst af sygdomme samt regionale klimaændringer.

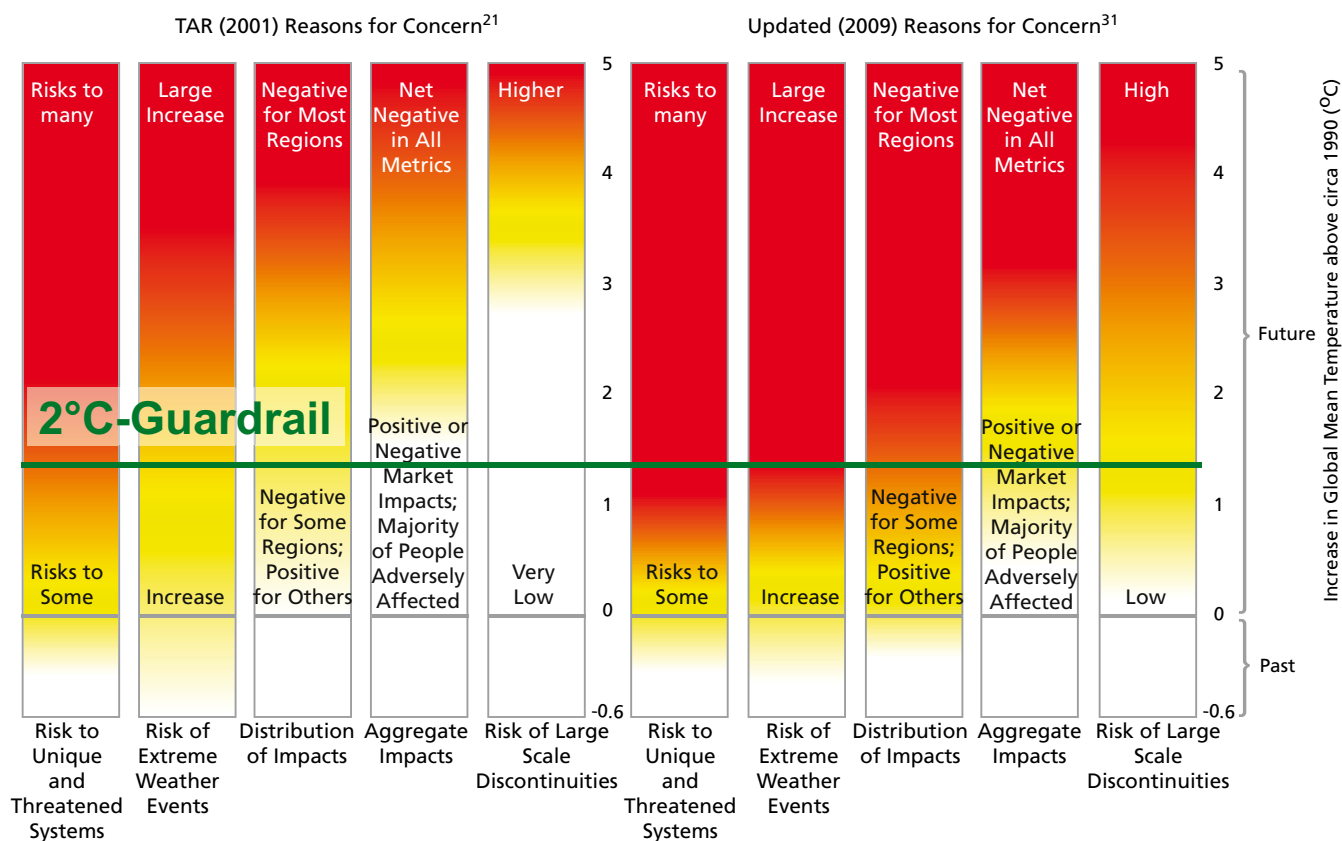
Ændringerne af økosystemerne har bidraget til væsentlige gevinster i menneskets trivsel og økonomiske udvikling, men omkostningerne ved disse gevinster er stigende i form af forringelse af mange økosystemtjenester. Særligt stigningen i antallet af produktionstjenester (især afgrøder, husdyrbesætninger og akvakultur) er sket på voldsom bekostning af andre produkter, såsom træbrændsel og ferskvand, og vigtige reguleringstjenester, inkl. regional og lokal klimaregulering, regulering af luftens kvalitet, regulering af naturlige farer samt mange åndelige, kulturelle og æstetiske værdier. Forringelsen af økosystemtjenester medfører ofte væsentlige forringelser af menneskets trivsel og repræsenterer et tab af et naturligt aktiv eller et lands velstand. Medmindre der tages hånd om disse konsekvenser, vil de også væsentligt begrænse de fordele, økosystemerne kan tilbyde fremtidige generationer.

Forringelsen af økosystemtjenester kan blive væsentligt værre i løbet af første halvdel af dette århundrede. Klimaændringer har bl.a. nedenstående direkte følger:

- Potentielle fremtidige konsekvenser for biodiversiteten: I slutningen af dette århundrede kan klimaændringer og deres konsekvenser være den dominerende direkte faktor bag tab af biodiversitet og ændringer i økosystemtjenester på globalt plan.
- Skadelige nettokonsekvenser for økosystemtjenester: De fleste videnskabelige beviser tyder på, at der vil være en væsentlig skadelig nettokonsekvens for verdens økosystemtjenester, hvis den globale middelloverfladetemperatur stiger mere end 2° C over det præindustrielle niveau.



Aktuelle konsekvenser og tendenser for forskellige faktorer på vigtige globale økosystemer. Konsekvenserne af klimaændringer er fremhævet som værende små til moderate p.t. med en forventet voksende betydning i løbet af de næste 50 år. Denne betydning hænger tæt sammen med evnen til at holde temperaturerne under en stigning på 2° C<sup>26</sup>.



Figur 8

Diagram vedrørende klimaændringernes potentielle konsekvenser for stigningen i den globale middeltemperatur. Nul på temperaturskalaen svarer omtrent til gennemsnitstemperaturen i 1990, og bunden af temperaturskalaen svarer til den præindustrielle gennemsnitstemperatur. Risikoniveauet eller alvorsgraden af potentielle konsekvenser stiger i takt med den røde farves styrke. 2° C-vænet er vist som reference.

klimaændringer og ville udgøre en signifikant ændring over tidsrum fra et årti eller mindre som for sommerisen i Arktis' eller monsunen i Asiens vedkommende - til flere århundreder eller årtusinder for Grønlands indlandsis' vedkommende. For to af disse tipping elements – sommerisen i Arktis og Grønlands indlandsis – ville en stigning i den globale middeltemperatur på 1-2° C sandsynligvis være nok til at udløse dem<sup>27</sup>, selvom et andet studie<sup>28</sup> tyder på, at en global gennemsnitlig opvarmning på 3,1° C ville være tærskelværdien for den grønlandske indlandsis. Den opvarmning, der kræves for at udløse de fleste andre tipping elements, er midlertidig ikke kendt, men selv en lille risiko for at udløse dem ville blive anset for at være farlig<sup>24</sup>. Det er ikke kun temperaturstigninger, der kan udløse tipping-begivenheder. Nyere studier antyder, at forsuren af havet (boks 5) kan medføre, at der opstår områder med iltvind med katastrofale følger for livet i havet<sup>29</sup>.

En af menneskets mest almindelige reaktioner på alvorlig miljømæssigt stress, såsom forringelse af vandressourcer eller fødevarerforsyning, er at flytte til steder med bedre betingelser. Det pludselige skift af et tipping element, såsom hvis monsunen i Asien blev væsentligt mere tør, eller der skete tab af vandlagerkapaciteten i gletsjerne i Himalaya, ville medføre miljømæssigt stress af betydelige proportioner, idet det ville reducere vandtilgængeligheden på Indus-Gangessletten. Muligheden for store mængder tvungne migranter som følge af alvorlige klimakonsekvenser har vakt bekymring om, at klimaændringer snart kan blive et stort problem (boks 7).

IPCC syntetiserede i 2001<sup>21</sup> ovennævnte analysetyper ved hjælp af de bedste videnskabelige beviser, der fandtes på det tidspunkt

vedrørende "årsager til bekymring" – "reasons for concern". Den resulterende visuelle repræsentation af syntesen, "burning embers diagram" (brændende gløder), viser, hvordan risikoen for forskellige typer klimakonsekvenser vokser i takt med en stigning i den globale gennemsnitstemperatur. Ved hjælp af samme metodologi er årsagerne til bekymring opdateret på baggrund af den nyeste forskning<sup>31</sup>.

Flere opklarende sammenhænge af relevans for definitionen af farlige klimaændringer fremgår tydeligt af en sammenligning mellem diagrammerne fra 2001 og 2009 (figur 8). For det første forekommer risiciene for skadelige konsekvenser af klimaændringerne nu ved en signifikant lavere stigning i den globale gennemsnitstemperatur i den nyeste analyse. For det andet er 2° C-vænet, som i 2001 mentes at have forhindret alvorlige risici for alle fem årsager til bekymring, nu utilstrækkeligt til at undgå alvorlige risici for mange unikke og truede økosystemer og til at forhindre en stor stigning i de risici, der er forbundet med ekstreme vejr-begivenheder. For det tredje ansås risiciene for storstillede afbrydelser, f.eks. ovennævnte tipping elements, at være meget lave i 2001 ved en stigning på 2° C, men anses nu for at være moderate ved samme stigning.

Selvom en temperaturstigning på 2° C over det præindustrielle niveau stadig er det mest almindeligt nævnte værn til at undgå farlige klimaændringer, er det ikke desto mindre forbundet med signifikante risici for skadelige konsekvenser for samfundet og miljøet.



## Sikkerhedsmæssige konsekvenser af klimaændringer

Prof. Ole Wæver, [ow@ifs.ku.dk](mailto:ow@ifs.ku.dk)

BOKS 7

Klimaændringer kan skabe belastninger, der øger hyppigheden af voldelige konflikter mellem samfund, typisk hvor hovedårsagerne er etniske eller politiske spændinger, men hvor ekstra byrder fra klimaændringer svækker samfundenes evne til at tackle spændinger. Ændrede betingelser for bosættelse, landbrug, minedrift, transport, sygdomme og katastrofer medfører lokale konflikter på grund af konkurrence og internationale konflikter primært på grund af migration eller vekslede magtforhold.

Foruden lokal tilpasning har migration været menneskets vigtigste reaktion på klimaændringer gennem historien. Når samfund tidligere klarede forholdsvis store ændringer på denne måde, var verden endnu ikke opdelt i stramt regulerede territorialstater, og klimaet ændrede sig meget langsommere end i dag. I dag vil stater normalt modsætte sig storstilet migration, som bliver årsag til konflikt mellem dem<sup>39,40</sup>.

Nogle forskere lægger vægt på, at kvantitative data ikke har dokumenteret en sammenhæng mellem klimaændringer og konflikter<sup>41</sup>, mens andre påpeger, at dette i alle tilfælde ville være usandsynligt, både i betragtning af disse datasæts art og den forholdsvis nylige materialisering af konsekvenserne af accelererende klimaændringer for samfundene<sup>42,43</sup>. Meget forskning retter sig i øjeblikket mod at producere data, som er bedre fokuseret på at måle disse forhold, således at det internationale samfund også forberedes på at styre de deraf følgende konflikter. Samtidig er der en overflod af ikke-offentligt tilgængelige analyser. Efterretningstjenester og militær fokuserer stadig mere på klimaændringer i deres forberedelser på fremtidige konflikter<sup>44,45</sup>. Hvis stormagter involveres i konflikter, bliver det politiske samarbejde om klimapolitikken meget vanskeligere.

Hvis opfattelsen er, at den internationale klimapolitik fuldstændig er slået fejl, kan ensidige forsøg på at tackle nødsituationen føre til konflikter, f.eks. om geo-engineering. Klimaændringspolitik eller manglen på samme kan i sig selv blive genstand for internationale konflikter eller retfærdiggøre foranstaltninger, som det f.eks. kommer til udtryk i Ugandas Præsident Yoweri Musevenis berømte karakterisering af klimaændringerne som "en aggressiv handling begået af de rige over for de fattige".

Generelt får ledere øget frihed til at træffe dramatiske foranstaltninger, når problemerne fremlægges som sikkerhedsmæssige. Det er vigtigt, at en sådan "sikkerhedsbaseret bemyndigelse" ved klimaændringer bliver "kanaliseret" over i en styrkelse af internationale institutioner og ikke ensidige nødlove<sup>42,43,46</sup>.

Hvis sikkerhed indarbejdes i klimaændringsligningen medfører det en risiko for, at de onde cirkler eskalerer. I de dele af verden, hvor sundhed og trivsel påvirkes mest af klimaændringerne, vil sandsynligheden for konflikter stige mest, og disse konflikter vil forringe levestandarden yderligere. De mere privilegerede dele af verden vil sandsynligvis i første omgang mærke afsmitningen fra disse konflikter, f.eks. i form af flygtninge og sygdomme, og ved højere temperaturstigninger vil deres egen sikkerhedsdagsorden blive tilpasset klimaændringerne.



Foto: John Connico



## HOVEDBUDSKAB 3

# LANGSIGTET STRATEGI: GLOBALE MÅL OG TIDSPLANER

Hurtig, vedvarende og effektiv forebyggelse baseret på koordinerede globale og regionale tiltag er nødvendig for at undgå "farlige klimaændringer", uanset hvordan de defineres. Nedsatte mål for 2020 øger risikoen for alvorlige følger, herunder overskridelse af tipping points, og gør opgaven med at nå målene for 2050 vanskeligere og dyrere. For at opnå effektiv forebyggelse er det vigtigt at fastsætte en troværdig langsigtet pris på kulstof og vedtage en politik, der fremmer energieffektivitet og lav-CO<sub>2</sub>-teknologier.

Målet med at begrænse opvarmningen til en stigning i den globale gennemsnitstemperatur på højst 2° C i forhold til det præindustrielle niveau spiller en central rolle i aktuelle diskussioner om klimapolitik. Som beskrevet i det foregående afsnit vil selv en opvarmning på 2° C medføre betydelige risici for samfundet og naturlige økosystemer. Men eftersom den globale gennemsnitstemperatur allerede er steget med ca. 0,7° C, og emissionerne af drivhusgas fra menneskelige aktiviteter stadig vokser (boks 2), er det meget vanskeligt at opnå et mere ambitiøst mål. På grund af klimasystemets træghed hævder IPCC's rapport<sup>2</sup> fra 2007, at en stigning i den globale temperatur på ca. 1,4° C over det præindustrielle niveau er uundgåelig. De menneskelige systemer har også en vis træghed, men den er vanskeligere at kvantificere, og det vides ikke, hvor hurtigt eller dramatisk samfundet kan eller vil reducere emissionerne af drivhusgas.

Hvor meget skal emissionerne reduceres for at holde klimaændringerne på den rigtige side af 2° C-vænet? IPCC<sup>1</sup> har beregnet de atmosfæriske koncentrationer af drivhusgasser, hvor stigningen i den globale gennemsnitstemperatur vil blive holdt inden for forskellige områder (tabel 1). Koncentrationerne opgives både som CO<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>-ækvivalenter. CO<sub>2</sub>-ækvivalenter omfatter de kombinerede opvarmningseffekter af CO<sub>2</sub>- og ikke-CO<sub>2</sub>-drivhusgasser (ekskl. vanddamp) samt nettokølingseffekten af aerosoler i atmosfæren. CO<sub>2</sub>-ækvivalenter udtrykkes som den ækvivalente mængde CO<sub>2</sub>, der skal bruges til at give samme nettoopvarmning som disse andre gasser og aerosoler giver. Aerosoler er små partikler i atmosfæren, der reflekterer solens indfaldende stråler og dermed har en kølende effekt. Aerosolernes kølende effekt i atmosfæren vil falde i takt med, at lovgivningen om luftforurening strammes, og mængden af partikler, der udledes til atmosfæren fra menneskelige aktiviteter, falder.

Ifølge IPCC's analyse bør atmosfærens koncentration af CO<sub>2</sub> ikke overskride 400 ppm CO<sub>2</sub>, hvis stigningen i den globale temperatur skal holdes inden for 2,0-2,4° C. CO<sub>2</sub>-koncentrationen ligger i dag på ca. 385 ppm<sup>33</sup> og stiger med 2 ppm om året. Koncentrationen af alle drivhusgasser i 2007, både CO<sub>2</sub> og ikke-CO<sub>2</sub> gasser, var på ca. 463 ppm CO<sub>2</sub>-ækvivalenter. Når denne koncentration justeres for aerosolers kølende effekt fås en CO<sub>2</sub>-ækvivalent koncentration på 396 ppm<sup>34</sup>. Et nyere studie<sup>35</sup> anslår, at en koncentration på 450 ppm CO<sub>2</sub>-ækvivalenter (inkl. aerosolers kølende effekt) ville give en 50/50-chance for at begrænse temperaturstigningen til 2° C eller mindre.

Dermed er atmosfærens CO<sub>2</sub>-koncentrationer allerede på de niveauer, der efter fremskrivningerne ville medføre en global opvarmning på mellem 2,0 og 2,4° C (tabel 1). Hvis samfundet ønsker at stabilisere drivhusgaskoncentrationerne på dette niveau, burde de globale emissioner i teorien øjeblikkeligt reduceres med 60-80 %, idet den faktiske mængde afhænger af, hvor meget havene og landjorden optager. I betragtning af at en så drastisk øjeblikkelig reduktion er umulig, vil drivhusgaskoncentrationerne fortsat stige i løbet af de næste få årtier. Overskridelse af grænsen for drivhusgaskoncentrationer, der kræves for at begrænse den globale opvarmning til 2° C, er dermed uundgåelig. Emissionerne bør toppe i den nærmeste fremtid, hvis omfanget af denne overskridelse skal begrænses. Nyere studier<sup>22,36,37</sup> tyder på, at hvis emissionerne af drivhusgas først topper efter 2020, skal reduktionsraterne for emissionerne, der derefter kræves for at bevare en rimelig chance for at overholde 2° C-vænet, være højere end 5 % om året. Dette er en afskrækkende udfordring sammenlignet med en årlig langtids-gennemsnitsstigning på 2 % i emissionerne (boks 2). Konklusionen fra både IPCC og senere analyser<sup>38</sup> er enkel: der er brug for omgående og dramatiske reduktioner af emissionerne af alle drivhusgasser, hvis 2° C-vænet skal overholdes.

Kortsigtede økonomiske overvejelser, politiske og institutionelle begrænsninger og manglen på offentlig bevidsthed og bekymring er de største barrierer mod øjeblikkelig iværksættelse af en ambitiøs reduktion af emissionerne. Der er stadig uenighed i det økonomiske samfund, om hvorvidt klimaændringerne blot er et ydre forhold som så mange andre eller grundlæggende adskiller sig fra alt, hvad menneskeheden nogensinde har stået over for<sup>38,39</sup>. Der er også uenighed om, hvordan forebyggelsesomkostningerne skal vurderes i forhold til de fremtidige omkostninger ved ikke at handle, og hvordan risiciene ved klimaændringerne skal vurderes. Et voksende antal analyser tyder ikke desto mindre på, at omkostninger ved både at tilpasse sig og forebygge klimaændringerne vil stige, hvis man venter med at handle<sup>16</sup> (session 32 & 52), (boks 8). Generelt er de økonomiske analytikere enige om, at usikkerheden om omfanget af fremtidige klimaændringer ikke er en rationel begrundelse for at udsætte programmer til dæmpning af emissionerne. Eksisterende økonomiske strukturer og interesser kan dog ofte forhindre effektiv klimapolitisk handling.

## Omkostningerne ved at vente med at handle

Prof. Lord Nicholas Stern, [n.stern@lse.ac.uk](mailto:n.stern@lse.ac.uk)

BOKS 8

Det kan blive meget dyrt at vente med at reducere emissionerne. Det ville betyde:

- Flere emissioner i dag fører til større og hurtigere temperaturstigninger og dermed større konsekvenser og tilpasningsomkostninger.
- Fastlåsning i høj-CO<sub>2</sub>-infrastruktur og forsinkelse af udviklingen af "ren" teknologi.
- Der kræves flere drastiske nedskæringer af emissioner på et senere tidspunkt.

Større emissioner i den nære fremtid låser os fast på større klimaændringer, der kræver større omkostninger som følge af klimakonsekvenser og øgede investeringer i tilpasning. De medfører også hurtigere klimaændringer med større udfordringer til tilpasning. Der er en større risiko for at overskride tipping points (tærskler) og, hvis det dikteres af ny viden, problemer med at skifte til mere ambitiøse mål.

Forskellige emissionsforløb har forskellige konsekvenser og tilpasningsfølger, men også forskellige forebyggelsesomkostninger. Drastiske reduktioner af emissionerne ville medføre, at produktive anlægsaktiver (fysiske investeringer såsom biler og kraftværker)

nedlægges for tidligt, og det kan blive meget dyrt. De øger omkostningerne ved nye investeringer, enten via tidlig anvendelse af teknologier under udvikling eller tidligere nedlæggelse ved hjælp af ældre teknologier, særligt i kapitalkrævende sektorer med holdbare investeringer, såsom energiproduktion, hvor kraftværkerne ofte forventes at have en levetid på 40-50 år.

Selvom indførelse af teknologier, der endnu ikke er modne, kan medføre højere omkostninger, vil de ikke modne uden investeringer og klare politiske signaler. Udvikling af nye teknologier sænker omkostningerne til fremtidige reduktioner af emissionerne. At sætte lid til større reduktion af emissionerne i fremtiden afhænger af innovation, der fører til omkostningseffektive lav-CO<sub>2</sub>-metoder i sektorer, der i øjeblikket ville være for dyre at dekarbonisere, såsom luftfart og landbrug. Ved et givet emissionsniveau vil større reduktioner være påkrævet i disse højomkostningssektorer, jo længere tiltag udsættes ved forholdsvis billige emissioner, såsom energieffektivitet og skovrydning. Selvom der er risici på begge sider, tyder tilgængelig evidens på, at det er omkostningerne ved at gøre for lidt, der dominerer de fleste aktuelle forslag<sup>39</sup>.



Foto: John McConnico

Temperature rise	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq.	Year of peak emissions	% change in global emissions
Global average temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity	CO <sub>2</sub> concentration at stabilisation (2005 = 379 ppm)	CO <sub>2</sub> -eq. concentration at stabilisation including GHGs and aerosols (2005 = 375 ppm)	Peaking year for CO <sub>2</sub> emissions	Change in CO <sub>2</sub> emissions in 2050 (percent of 2000 emissions)
°C	ppm	ppm	year	percent
2.0 - 2.4	350 - 400	445 - 490	2000 - 2015	-85 to -50
2.4 - 2.8	400 - 440	490 - 535	2000 - 2020	-60 to -30
2.8 - 3.2	440 - 485	535 - 590	2010 - 2030	-30 to +5
3.2 - 4.0	485 - 570	590 - 710	2020 - 2060	+10 to +60
4.0 - 4.9	570 - 660	710 - 855	2050 - 2080	+25 to +85
4.9 - 6.1	660 - 790	855 - 1130	2060 - 2090	+90 to +140

Tabel 1  
Karakteristika for forskellige emissionsforløb for at stabilisere atmosfærens drivhusgaskoncentrationer, i CO<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>-ækv. Stigningen i den globale gennemsnitstemperatur ved ligevægt over det præindustrielle niveau er angivet for hvert stabiliseringsmål. Det er kun det første scenarie, vist på række 1, der har mulighed for at nå 2° C-vænet. Bemærk, at de aktuelle atmosfæriske drivhusgaskoncentrationer er på ca. 385 ppm CO<sub>2</sub> og 396 ppm CO<sub>2</sub>-ækv. (inkl. aerosolers afkølede effekt). Ændret fra<sup>1</sup> (tabel 5.1, s. 67).



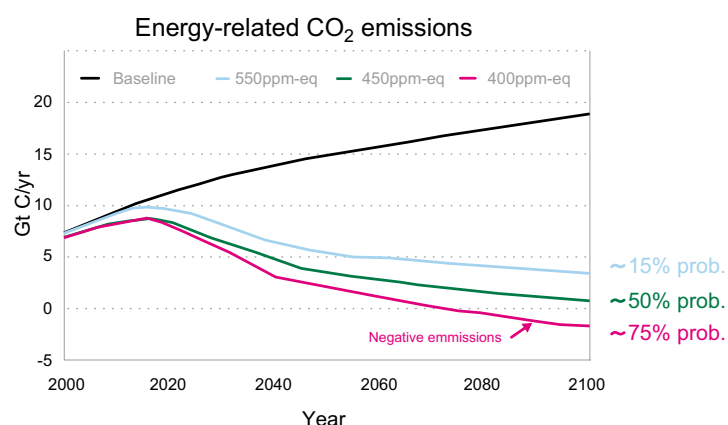
Selvom det kan være politisk vanskeligt, er et vigtigt skridt i reduktionen af emissionerne, at virksomheder og forbrugere betaler en passende pris for at udlede drivhusgasser<sup>38,39</sup>. Priser på emissioner kan indføres enten via emissionsmål og -handel, gennem skatter og afgifter på emissioner eller en kombination af disse metoder. Der vil i alle tilfælde højst sandsynligt være brug for andre politikker og programmer til at takle yderligere ydre forhold og markedsfejl (boks 9). Hvis ambitiøse mål for forebyggelsen skal nås, bør programmer til reduktion af emissioner samt "carbon pricing" indføres snarest muligt, og det bør ske inden for stabile politiske rammer. Dette vil sende et signal til investorer, forbrugere og innovatorer om det fremtidige markeds miljø og dermed opmuntre til investeringer og i sidste ende reducere omkostningerne ved at nå et givet forebyggelsesmål. Sammen med carbon pricing er vedtagelse af politik og love, der fremmer energieffektivitet – f.eks. etablering af energistandarder for apparater, boliger og transport<sup>32,48,49</sup> – samt udbredt indførelse af lav-CO<sub>2</sub>-teknologier også vigtige for hurtig og effektiv forebyggelse<sup>50</sup>.

Uden et globalt samarbejde vil ambitiøs klimabeskyttelse være praktisk taget umulig. For at nå ambitiøse forebyggelsesmål er det vigtigt at handle så hurtigt som muligt for at sikre udbredt deltagelse af alle større lande i omfattende forebyggelsestiltag<sup>16,51,52,53</sup> (session 32 & 52). Den aktuelle globale økonomiske krise tyder dog på, at det ikke vil være klogt at opbygge et indviklet, tæt forbundet globalt system, hvor kollaps af et enkelt element i systemet får hele systemet til at kollapse<sup>16</sup> (session 23). En global handlingsplan, globale bindende tilsagn og en global ramme er ikke desto mindre nødvendige krav for at opbygge en passende koordineringsgrad af tiltag på alle plan, herunder lokalt, regionalt og nationalt plan<sup>16</sup> (session 58).

Foruden de økonomiske og politiske tvangsforanstaltninger til reduktion af drivhusgaskoncentrationerne er tekniske flaskehalse også vigtige. Stabilisering af de atmosfæriske koncentrationer på ethvert niveau vil kræve, at emissionerne skal reduceres til næsten nul på langt sigt<sup>54</sup>. Nogle af de fremskrevne veje, der giver en rimelig chance for at holde sig inden for 2° C-værnet (figur 9), peger på, at det globale samfund kan være nødt til at udvikle kapacitet til at fjerne kulstof fra atmosfæren<sup>55</sup>. Selvom der er en række lovende teknologier under udvikling – f.eks. opsamling og lagring af CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage, CCS) –<sup>56</sup>, er der stadig lang vej, før de kan anvendes kommercielt og i stor skala<sup>16</sup> (session 17).

I betragtning af den enorme forebyggelsesudfordring er aggressive forebyggelsesporteføljer og praktisk implementering heraf genstand for stadig større opmærksomhed. Analyser går fra potentialet ved foranstaltninger for energieffektivitet<sup>16</sup> (session 20) og teknisk innovation inden for vedvarende energisystemer<sup>57</sup> til integrerede vurderinger af den tekniske gennemførlighed og økonomiske overkommelighed af emissionsvejene for at stabilisere drivhusgaskoncentrationerne på hhv. 400, 450 og 550 ppm CO<sub>2</sub>-ækvivalenter (figur 9). Målet på 400 ppm CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, nogenlunde samme niveau som koncentrationerne er på i dag, antages at give en 75 % chance for at begrænse den globale opvarmning til mindre end 2° C<sup>22,35</sup>. Energi-miljø-økonomi modeller tyder på, at en sådan lav-CO<sub>2</sub>-vej er mulig med moderate omkostninger, hvis hele rækken af teknologier udvikles og anvendes, herunder anvendelse af biomasse i stort omfang og mulighed for at opsamle og lagre CO<sub>2</sub><sup>16</sup> (session 27)<sup>60</sup>.

Andre hævder, at forebyggelsesarbejdet kan blive langt mere besværlig end forudset i øjeblikket, og at de nødvendige innovationsstrategier kan støde ind i tekniske, sociale og økologiske barrierer. Denne argumentation peger mod geo-engineering, hvor menneskeheden med vilje manipulerer klimaprocesser på globalt plan for at opnå afkøling af planeten, som en potentiel mulighed ud over forebyggelsesstrategierne<sup>61</sup>. Der er dog endnu ikke nogen social accept af geo-engineering-metoder<sup>62</sup>.



**Figur 9**  
Energi-relaterede emissionsforløb fra 2000 til 2100 for at stabilisere drivhusgasserne i atmosfæren ved tre forskellige mål (farvede linjer). Den sorte linje er et referenceforløb baseret på ingen klimapolitik. De estimerede (median-)sandsynligheder for at begrænse den globale opvarmning til maksimalt 2° C er angivet for de tre stabilisationsmål<sup>35,58,63</sup>.

## Økonomiske værktøjer til imødegåelse af forebyggelsesudfordringen

BOKS 9

Dr. Frank Jotzo, [frank.jotzo@anu.edu.au](mailto:frank.jotzo@anu.edu.au)

Priser på emissioner er det vigtigste økonomiske værktøj til at kontrollere emissionerne af drivhusgas. De to vigtigste prisinstrumenter er CO<sub>2</sub>-afgiften og emissionshandel (kvotesystem, "cap and trade") - og eventuelt også hybridprogrammer. De fleste planlagte og indførte programmer anvender emissionshandel, undertiden med elementer af prisstyring. Afgifter og handel fungerer forskelligt ved uvished, og økonomerne drøfter fortsat, hvilken metode der er den bedste, men det grundlæggende princip er det samme: Der betales en økonomisk bod ved emission af drivhusgasser som videreføres gennem markederne, så der skabes et incitament til at reducere emissionerne. Virksomheder og forbrugere skifter til lavere-CO<sub>2</sub>-processer eller -produkter, fordi de derved sparer penge. Den samlede reaktion er omkostningseffektiv, fordi de billigste muligheder anvendes først.

Tilskud til lav-CO<sub>2</sub>-teknologier er et andet vigtigt værktøj til håndtering af ydre forhold og markedsfejl, der kan være ved med priser på emissioner. Eksempler omfatter vidensafsmiining til forskning og udvikling, lånebegrænsninger for investeringer

samt skæve incitamenter for slutbrugere. I mange lande omfatter de skattepakker der er indført for at modvirke den globale finanskrisens recessionseffekter, offentlige investeringer i lav-CO<sub>2</sub>-teknologi og -infrastruktur. Sektorspecifikke lovpakker er også en del af den klimækonomiske værktøjskasse, f.eks. med krav om, at offentlige selskaber køber en minimumsandel af elektricitet fra vedvarende energikilder. Sådanne love kan også omfatte markedsmekanismer, såsom handel med vedvarende kvoter mellem offentlige selskaber.

De centrale overvejelser ved valg og udformning af økonomiske politikker for drivhusgasforebyggelse er, om de er omkostningseffektive og politisk bæredygtige. Nøglen er at skabe stabile prissignaler og varige forventninger til stigende CO<sub>2</sub>-priser for at fremme langsigtede investeringer i forebyggelsesforanstaltninger – og at implementere de politiske initiativer bredt på tværs af sektorer og lande for at maksimere incitamentet til reduktion af emissioner og minimere de samlede økonomiske omkostninger.





## HOVEDBUDSKAB 4

# RETFÆRDIGHEDSDIMENSIONER

Klimaændringer vil nu og fremover ramme personer meget forskelligt i forskellige lande og regioner, i denne og fremtidige generationer samt i samfund og naturen. Der skal være et effektivt, velfunderet tilpasningssikkerhedsnet for dem, som er dårligst udrustet til at klare følgerne af klimaændringerne, og der skal indføres retfærdige forebyggelsesstrategier for at beskytte de fattige og mest sårbare. Takling af klimaændringerne skal ses som en integreret del af de bredere mål om styrkelse af den samfundsøkonomiske udvikling og lighed verden over.

Overvejelser om retfærdighed springer i øjnene, når man ser på klimaændringernes oprindelse og følger, og det skal der tages særligt hensyn til, når der skabes løsninger på klimaændringerne. Ændringerne i klimaet sker ikke ensartet verden over. Temperaturen stiger hurtigere ved polerne end ved ækvator, nedbøren ændrer sig på komplekse måder, hvor nogle områder bliver vådere, mens andre vil opleve vedvarende tørke, og ekstreme begivenheder vil forekomme hyppigere nogle steder end andre. Uretfærdigheden springer også i øjnene i forhold til klimaændringernes menneskelige dimension. Generelt bærer industrilandene den største del af ansvaret for de hidtidige klimaændringer, mens udviklingslandene lider under de fleste af følgerne. Der findes f.eks. en dyb ulighed i klimaændringernes sundhedsmæssige følger: Risikoen for at lide overlast eller død er størst for de fattige, marginaliserede, uuddannede og geografisk sårbare<sup>16</sup> (session 14). Generelt har de fattige mindst kapacitet til at tilpasse sig klimaændringerne. Enhver varig og bredt accepteret løsning på udfordringen fra klimaændringerne skal under forhandlingerne såvel som i selve aftalerne anerkende og tage højde for disse retfærdighedsdimensioner.

Sårbarheden over for klimaændringernes følger er meget forskellig verden over, og spørgsmål vedrørende etik og retfærdighed er centrale faktorer i tilpasningsmetoderne. Drøftelser om uretfærdighed i forbindelse med tilpasningen omfatter tilpasningens samspil med national fattigdom, regionale forskelle i tilpasningsformåen, tilpasning på en kolonial baggrund, ansvaret for at finansiere tilpasningen og de etiske aspekter når tilpasningsbyrden placeres i en allerede ulige verden<sup>16</sup> (session 10 & 11). Der er foreslået en række modeller til håndtering af disse spørgsmål, som ofte er indrettet ud fra ideen om et velfunderet tilpasningssikkerhedsnet for de mest sårbare (boks 10).

Globale analyser af hot spots i forbindelse med vandmangel og landbrugets og fødevarerensystemernes sårbarhed kan identificere de mennesker og steder, der er mest sårbare over for fødevare manglen (figur 10), hvilket kan hjælpe med at målrette ressourcer og ekspertise mod en reduktion af disse sårbarheder. Der er hidtil forsket overraskende lidt i bevaring eller forbedring af fødevarerensystemers produktivitet i et klima under forandring eller i andre aspekter af fødevarerensystemers sårbarhed over for klimaændringer, f.eks. distributionsnet og fødevarer kvalitet. Dette manglende fokus for forskningen er et gængs problem i mange af verdens udviklingsregioner, hvor presset for at overleve på kort sigt dominerer over den langsigtede tilpasning til klimaændringer. I takt

med at følgerne af klimaændringer bliver vigtigere, vil der ikke desto mindre blive brug for flere ressourcer til både forskning i og tiltag til at mindske sårbarheden i de mest fødevarefattige dele af verden<sup>64,65</sup>.

Retfærdighedsspørgsmål har både en tidsmæssig og en rummæssig dimension. Den nuværende generations forpligtelser over for kommende generationer er blevet drøftet meget, og selvom mange aspekter af den intergenerationelle retfærdighed drøftes intenst, er man nået til enighed på en række områder. De økonomiske standardmetoder, der anvender cost-benefit-analyser og standardrabatter, afspejler for det første ikke de mangfoldige perspektiver, som forpligtelserne over for kommende generationer rummer. For det andet fører mange forskellige filosofiske perspektiver til samme konklusion: det er uretfærdigt over for kommende generationer at fortsætte som hidtil, eftersom de har en grundlæggende ret til et miljø, de kan leve i. Kort sagt administrerer den nuværende generation Jordens naturkapital på en sådan måde, at der overdrages en betydelig miljøgæld, som de næste generationer skal betale tilbage<sup>16</sup> (session 12).

Det katastrofale fald i biodiversitet, som breder sig, giver ikke bare anledning til bekymring i forhold til økosystemtjenester til mennesker<sup>26</sup>, men rejser også etiske spørgsmål vedrørende forholdet mellem mennesket og resten af naturen. Mens det moderne samfund ofte betragter naturen som en enorm række ressourcer, der kan udnyttes, er naturens rekreative og åndelige værdier ligeledes vigtige for mange mennesker. Mange mener således, at det er uacceptabelt, at klimaændringerne kan medføre udryddelse af karismatiske arter, såsom kejserpingviner, eller ikoniske økosystemer, såsom koralrev eller regnskove. Biocentriske og økocentriske etiske perspektiver giver planter, dyr og økosystemer en moralsk status, og dermed ses udryddelser, der forårsages af klimaændringer, som en uretfærdighed i forholdet mellem mennesket og resten af naturen<sup>16</sup> (session 13).

Retfærdighedsspørgsmål er også centrale i forbindelse med forebyggelsen af klimaændringer og indgår uvægerligt som en del af diskussionerne om et differentieret ansvar for at reducere emissionerne landene imellem. Det videnskabelige grundlag for retfærdighedsdilemmaet i forbindelse med forebyggelse er problemet med beholdnings- og strømstørrelser (stocks and flows)<sup>18</sup>. Klimaet reagerer på mængden af drivhusgasser i atmosfæren – beholdningen. CO<sub>2</sub> og en række andre drivhusgasser i atmosfæren har en så lang levetid, at beholdningerne domineres af de historiske emissioner fra industrilandene. Dermed er

## Finansiering af tilpasning

Prof. J. Timmons Roberts, [jtrobe@wm.edu](mailto:jtrobe@wm.edu) & prof. Coleen Vogel, [Coleen.Vogel@wits.ac.za](mailto:Coleen.Vogel@wits.ac.za)

BOKS 10

Verdens fattigste er normalt de mest sårbare over for konsekvenserne af klimaændringerne, men samtidig er de de mindst ansvarlige for dem. FN's Klimakonvention og Kyoto-protokollen har begge erklæret, at betydelige økonomiske midler bør strømme fra dem, som har mulighed for at klare og styre klimaændringerne, til dem, som ikke har det. Det var nemt nok at blive enige om dette princip, men nu skal en global pagt tage stilling til en række afgørende spørgsmål. Hvor mange økonomiske midler kræver tilpasningen, og hvordan kender og anslår vi disse omkostninger, både på kort og lang sigt? Hvem skal betale for tilpasningen, og hvor meget skal hvert land betale? Hvordan kan tilstrækkelige midler rejses sikkert og retfærdigt? Hvordan kan internationale midler til tilpasning fordeles retfærdigt og anvendes effektivt?

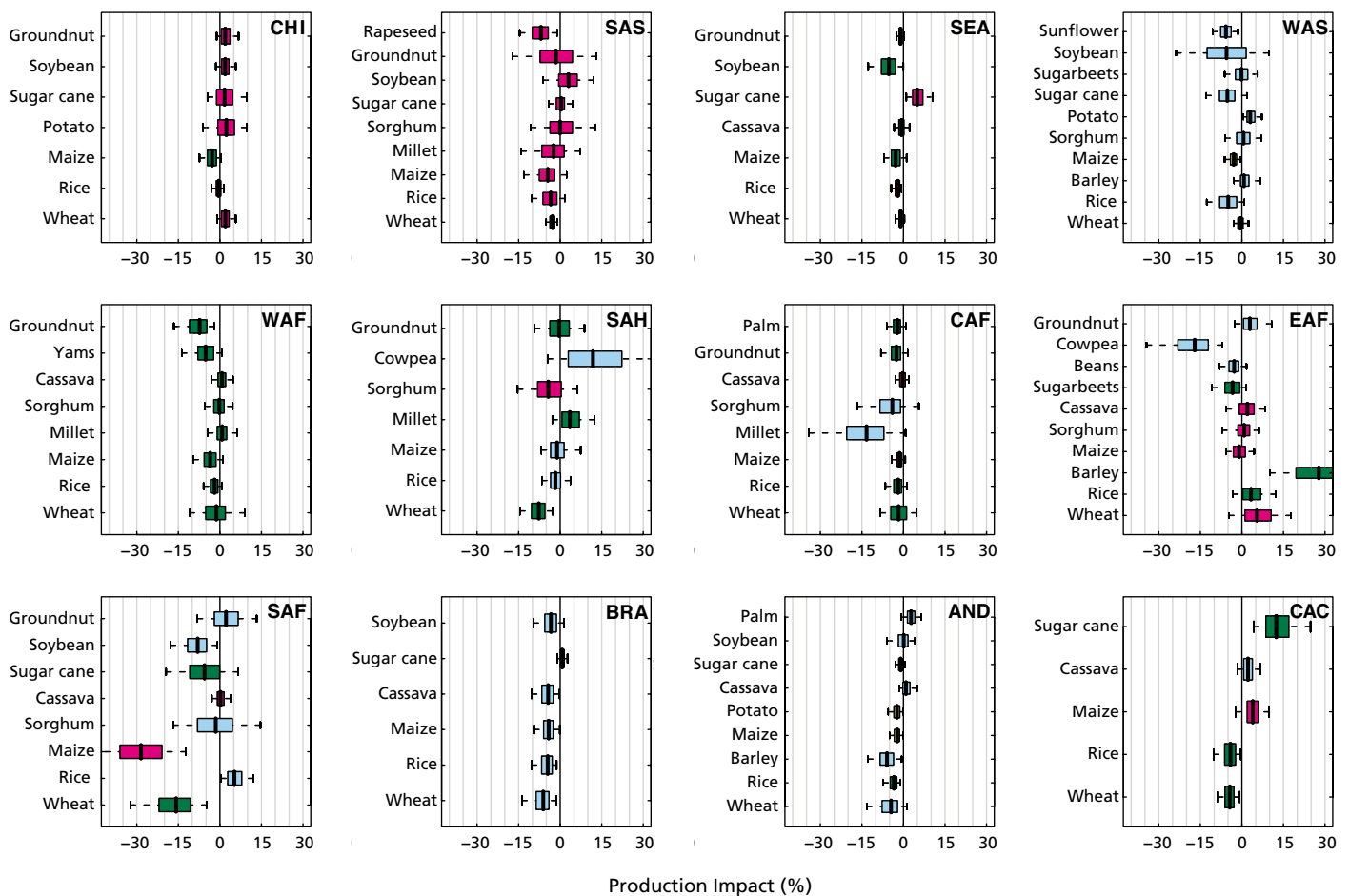
Estimer af de økonomiske midler, som udviklingslandene har brug for til at tilpasse sig de sandsynlige konsekvenser af klimaændringerne strækker sig i øjeblikket fra otte til over et hundrede milliarder dollars om året, men det står klart, at der skal mobiliseres mange milliarder dollars hvert år startende i dag. I øjeblikket er de frivillige økonomiske midler fuldkommen utilstrækkelige. Som ved de fleste katastrofer bliver mange konsekvenser og tab aldrig oprettet eller tilbagebetalt, trods en betydelig indsats. "Forureneren betaler"-princippet foreslår dog, at dem, som skabte behovet for tilpasning, skal betale for det. Det er vigtigt, at disse betalinger anses som en tvungen erstatning for sket skade og ikke behandles som valgfrie eller velgørenhed.

FN's Klimakonvention fastsætter, at handling i forbindelse med klimaændringer skal baseres på ansvarlighed og muligheder. De mest lovende metoder anvender indtægter, der er genereret i rigere lande fra reduktioner af emissioner (via CO<sub>2</sub>-afgifter eller indtægter fra auktioner over tilladelser), til at håndtere de fattigere landes behov for tilpasning.



Foto: John McConnoico

Internationale afgifter på CO<sub>2</sub>-handel eller transport har fordele i forhold til økonomiske midler fra nationale afgifter, der risikerer at blive opfanget af nationale politikere, som er under pres for at se på andre lokale vigtige forhold. Endelig skal der gives opmærksomhed til en rimelig og effektiv distribution af de økonomiske midler til tilpasning: Deltagende processer, transparent levering og uvildig vurdering af deres anvendelse er nødvendig for at bevare en generel tillid.



Figur 10

Fremskrevne følger af klimaændringerne på landbrugsproduktionen i 2030, udtrykt som en procentvis ændring i forhold til gennemsnitsudbyttet 1998-2002. Lyserød, grøn og blå angiver en "prioritering af betydningen for sult" fra hhv. 1 til 30 (vigtigst), 31 til 60 og 61 til 94 (mindst vigtig). Punkterede linjer strækker sig fra den 5. til 95. percentil af fremskrivningerne, bokse fra den 25. til 75. percentil, og

den midterste lodrette linje i hver boks angiver medianfremskrivningen. Regionskoder: CHI – Kina, SAS – Sydasien, SEA – Sydøstasien, WAS – Vestasien, WAF – Vestafrika, SAH – Sahel, CAF – Centralafrika, EAF – Østafrika, SAF – Sydlige Afrika, BRA – Brasilien, AND – Andesområdet, CAC – Centralamerika og Caribien<sup>64</sup>.

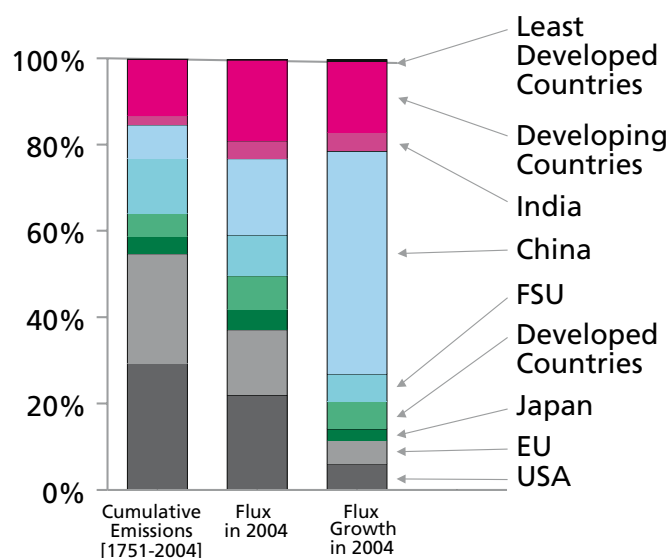


det klimaændringsniveau, der opleves i 2009, i høj grad forårsaget af de historiske emissioner fra rige lande (figur 11). Oprindelsen til de menneskelige emissioner af drivhusgasser til atmosfæren er hurtigt ved at ændre sig. Stigningstakten i emissionerne domineres nu af udviklingslandene, og især de store asiatiske økonomier leder nu store mængder CO<sub>2</sub> ud i atmosfæren udtrykt i årlige strømme. Udtrykt pr. indbygger dominerer industrilandene dog stadig emissionerne og vil fortsat gøre det i den forudsigelige fremtid.

I en 2050-verden med 9 milliarder mennesker skal emissionen pr. indbygger være på ca. 2 tons CO<sub>2</sub> årligt eller mindre for at opfylde reduktionsmålet for emissioner og dermed undgå farlige klimaændringer. Som nævnt er emissionerne pr. indbygger meget forskellige fra land til land – f.eks. er de på over 20 tons i USA, på ca. 11 tons i de nordiske lande og under 4 tons i Kina<sup>66</sup>. Det er kompliceret at konvertere det nødvendige gennemsnit pr. indbygger til en bindende emissionsret pr. person verden over, og det omfatter emner såsom historisk ansvar (figur 11) samt den tid, der kræves for at eliminere de nuværende forskelle landene imellem.

Forebyggelsesmetoder i en national sammenhæng er også omgivet af retfærdighedsspørgsmål. De krydser uvægerligt strukturelle uligheder på komplicerede måder, ofte så økonomisk og politisk svagere subpopulationer stilles i en svagere position. Energilpolitik med henblik på at reducere emissioner bør være følsom over for bestemte energiforbrugsmønstre, der er forskellige fra husstand til husstand og fra individ til individ, når det gælder indtægt, bopæl i byen eller på landet, køn og alder. Håndtering af disse udfordringer kræver, at de politiske initiativer udformes og gennemføres med stadig større deltagelse af og hensyntagen til alle sociale grupper<sup>16</sup> (session 10).

Udvikling, indførelse og udbredelse af lav-CO<sub>2</sub>- eller nul-CO<sub>2</sub>-teknologier er vigtige aspekter af forebyggelsesindsatsen, der også



**Figur 11**  
Forskellige aspekter af menneskets CO<sub>2</sub>-emissioner fordelt på land/region, der fremhæver problemet med beholdnings- og strømstørrelser. Den første kolonne viser de kumulative emissioner fra begyndelsen af den industrielle revolution til 2004. Det er disse lagre af CO<sub>2</sub> i atmosfæren, der i vid udstrækning forårsager de observerede klimaændringer. Den anden kolonne viser strømningstætheder for menneskets CO<sub>2</sub>-emissioner til atmosfæren i 2004. Den tredje kolonne viser den årlige væksthastighed i 2004 for strømme af CO<sub>2</sub> til atmosfæren<sup>18</sup>. FSU er det tidligere Sovjetunionen.

krydser retfærdighedsspørgsmålet, især med hensyn til samspillet mellem industri- og udviklingslande. Indførelsen af en blanding af forskellige ikke-fossile energikilder for at reducere emissioner hævdes undertiden at sætte farten ned på fattigdomsbekæmpelsen i udviklingslandene, fordi det kræver store investeringer<sup>16</sup> (session 21), selvom det også kan have den modsatte effekt, hvis de udformes og indføres korrekt. Blandt de vigtigste principper ved indførslen af ikke-fossile energikilder kan nævnes: (i) Konkret plan for afsmitning og udbredelse til udviklingslande, når demonstrationsprojekter udføres i et industriland, (ii) design af andre fordele for andre aspekter af den samfundsøkonomiske udvikling og indarbejdelse af tydelige incitamenter for at støtte lav-CO<sub>2</sub>-energisystemer, og (m) teknologier behøver ikke at være de mest avancerede og de dyreste for at kunne bruges effektivt i udviklingslandene<sup>16</sup> (session 21 & 27). Et eksempel på det sidste princip er den hurtige udbredelse af billig, næsten vedligeholdelsesfri solcelleteknologi i Kenya<sup>57</sup> (figur 12).



**Figur 12**  
Små solceller (gennemsnitssystem – 18 Watt), som de anvendes i Kenya. Denne teknik tages i højere grad i brug i Kenya end i noget andet land i verden<sup>57</sup>.

Biologiske systemer til oplagring af CO<sub>2</sub> og reduktion af emissioner er en potentiel forebyggelsesmetode, der indebærer komplekse og omstridte overvejelser om retfærdighed. Ændringer i skovdækket udgør ca. 15 % af menneskets globale emissioner af drivhusgas<sup>1</sup>. Metoder til reduktion af emissioner fra skovrydning og skovudtyndning vinder stadig større anerkendelse som en potentielt effektiv og virkningsfuld forebyggelsesstrategi (hovedbudskab 5), men der er stadig udfordringer, hvis man skal sikre, at sådanne strategier er retfærdige. Der er særligt



et behov for at beskytte rettighederne og eksistensgrundlaget hos de befolkninger, der er afhængige af skoven. For at blive alment accepteret bør sådanne projekter undgå fejltagelser og bygge på succeser fra tidligere forsøg på at kontrollere skovrydning, hvilket betyder, at de politiske værktøjer skal forholde sig til de egentlige drivkræfter bag skovrydningen. Disse går ofte på tværs af sektorer og ligger uden for den traditionelle skovsektor. Metoder til beskyttelse af skoven skal desuden tage højde for forskellige lokale forhold, både med hensyn til politisk økonomi og økologi<sup>16</sup> (session 25).

Andre biologibaserede forebyggelsesmetoder omfatter udvikling og anvendelse af biobrændsler. Disse omfatter imidlertid også overvejelser om retfærdighed. I 2008 har den kraftige stigning i fødevarerpriser, der i

det mindste delvist har kunnet tilskrives konkurrence med biobrændsler om jord, understreget den potentielle konflikt, som er drevet af rige landes efterspørgsel efter flydende brændsel og udviklingslandenes fattiges behov for fødevarer sikkerhed. Andengenerations biobrændelsssystemer er udformet til at fjerne denne potentielle konflikt ved at anvende non-food-råvarer og ved at anvende jord, der ikke egner sig til fødevarerproduktion<sup>16</sup> (session 18).

Spørgsmål om retfærdighed præger alle aspekter af udfordringen fra klimaændringerne. Forsøg på at adskille eller opdele emissionsreduktion og tilpasningsaktiviteter fra den samfundsøkonomiske udviklings bredere mål i mange dele af verden er dømt til at slå fejl. De to store udfordringer i det 21. århundrede – undgåelse af farlige klimaændringer og bekæmpelse af fattigdom – bør og kan takles sammen<sup>67,68</sup>.

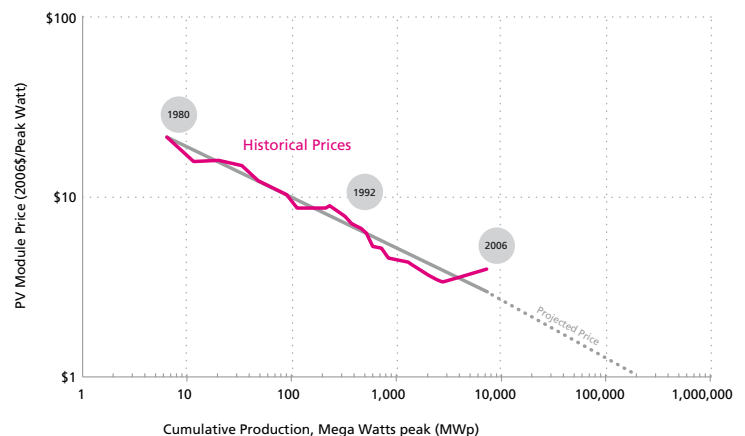
## HOVEDBUDSKAB 5

# INGEN UNDSKYLDNING FOR IKKE AT HANDLE

Samfundet har allerede nu mange værktøjer og metoder – økonomiske, tekniske, adfærdsmæssige og styringsmæssige – til effektivt at takle de udfordringer, der følger af klimaændringerne. Hvis disse værktøjer ikke implementeres slagkraftigt og bredt, vil tilpasningen til de uundgåelige klimaændringer og den samfundsmæssige omstilling, der er nødvendig for at dekarbonisere økonomierne, ikke kunne opnås. En koordineret indsats for at opnå effektiv og hurtig tilpasning og forebyggelse vil skabe en lang række fordele, såsom vækst i antallet af job inden for bæredygtig energi, reduktion i de sundhedsmæssige, sociale, økonomiske og miljømæssige omkostninger ved klimaændringerne samt reparation af økosystemer og fornyelse af økosystemtjenester.

Enhver samfundsmæssig reaktion på menneskeskabte klimaændringer bør være en kombination af **forebyggelse**, hvor der træffes aktive foranstaltninger for at reducere eller ændre de menneskelige aktiviteter, der driver klimaændringerne, og **tilpasning**, hvor samfundet øger sin kapacitet til at takle konsekvenserne af klimaændringer, så vidt det er muligt. Forebyggelse og tilpasning hænger tæt sammen som reaktionsstrategier. Tilpasning er essentiel, idet selv en massiv forebyggelsesindsats i dag ikke ville kunne eliminere konsekvenserne af de klimaændringer, der allerede forekommer, og de klimaændringer, som samfundet har bundet sig til i fremtiden på grund af klimaets træghed. I den anden ekstreme ende er der stor risiko for de farligste eller mest katastrofale konsekvenser, der er forbundet med en global opvarmning på flere grader, hvis der ikke igangsættes forebyggelse, og de menneskeskabte klimaændringer får lov til at fortsætte uformindsket (hovedbudskab 2). Selv de rigeste samfund med de bedste og mest ressourcestærke tilpasningsaktiviteter ville sandsynligvis ikke være i stand til at tilpasse sig så store klimaændringer. Denne enkle virkelighed understreger det faktum, at effektiv klimapolitik bør kombinere både tilpasningsforanstaltninger og forebyggelsesaktiviteter.

En reduktion af de menneskelige emissioner af drivhusgasser til det niveau, der er nødvendigt for at forebygge overskridelse af 2° C-vænet, kan ikke ske, medmindre en meget større procentdel af samfundets energiefterspørgsel opfyldes af ikke-fossile brændstofdskilder. Udvikling af en økonomi, der er mindre afhængig af fossile brændstoffer, omtales undertiden også som en "dekarbonisering af økonomien". Mange vedvarende energiteknologier, der kan bidrage til dekarbonisering af den globale økonomi, har været under udvikling i de sidste år (boks 11). Selvom der ikke findes nogen mirakelløsning – ingen enkelt vedvarende teknologi, der fuldt ud kan erstatte fossile brændstoffer – kan et miks af teknologier gøre det muligt for forskellige lande og regioner at udvikle deres egne kombinationer af vedvarende energi, der kan opfylde deres behov. Der findes allerede nu teknologier, der sammen med ændringer på efterspørgselssiden – reduceret energianvendelse og forbedret energieffektivitet – giver mulighed for at reducere emissionerne af drivhusgas med 50 % inden 2050 og i nogle regioner at reducere emissionerne til næsten nul inden samme tidspunkt<sup>16</sup> (session 19). For at nå sådanne mål er der dog brug for en hurtig og væsentlig opbygning af produktionskapacitet via fælles investeringer, stabile politiske rammer samt forskning, udvikling og demonstration for at fremme teknologilæring og reducere produktionsomkostninger (figur 13).



**Figur 13**  
Faldet i modulprisen på tyndfilms solceller (PV) i takt med de kumulative produktionsstigninger og en forstærkende tilbagekoblingsløje, der viser, at tidlige, betydelige investeringer i vedvarende teknologier vil øge deres anvendelsesrater, hvilket vil sænke enhedsomkostningerne yderligere<sup>69</sup>. Den udbrudte linje viser historiske data, og den stiplede linje viser det fremskrevne forløb baseret på en fortsættelse af de historiske tendenser.

"Intelligente net", hvor forskellige elementer af energisystemet, inkl. produktion, fleksibel efterspørgsel, lagring og energikonvertering, spiller sammen for at levere et stabilt og effektivt energisystem, vil være afgørende for at integrere store fraktioner af vedvarende energi. Udviklingen af "supernet" – regionale energiforsyningssystemer, der leverer energi over store geografiske områder – kan også være nødvendige for at fremme integreringen af vind-, sol- og andre vedvarende energiteknologier sammen med store energilageranlæg, såsom vandkraftværker. Sådanne net kan hjælpe til med at afbalancere belastninger og moderate fluktuationer i produktionen<sup>16</sup> (session 19).

Vedvarende teknologier kan faktisk i nogle tilfælde dække udviklingslandenes behov hurtigere end mere traditionelle energisystemer baseret på fossile brændstoffer, fordi de kan fungere på fjerne steder i mindre skala og måske også kræver mindre vedligeholdelse og lokal teknisk kapacitet (hovedbudskab 4). Nogle teknologier, såsom tidlige solteknologier, der måske ikke egner sig til strømproduktion i lande, der allerede har et moderne og pålideligt energifordelingssystem, kan ikke desto mindre være velegnede til elproduktion i udviklingsland

uden adgang til driftssikre elektricitetssystemer. Når klimaovervejelserne integreres i udviklingsaktiviteter, kan målene for forebyggelse og udvikling af klimaændringerne med andre ord være stærkt synergetiske.

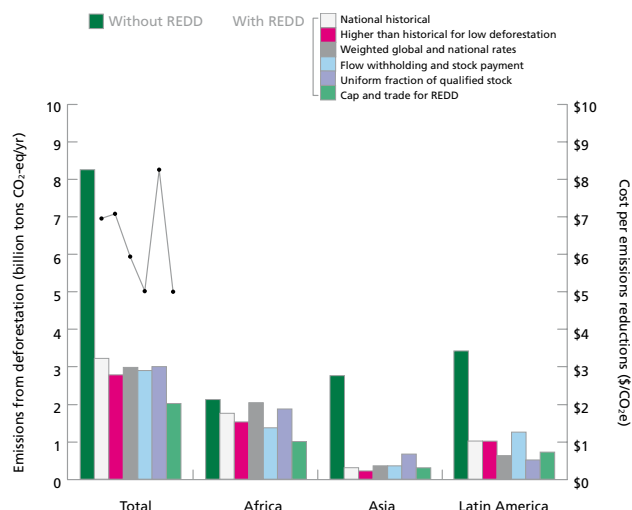
Foruden udviklingen af vedvarende energiteknologier ligger der i forvaltningen af biologiske systemer et betydeligt potentiale som forebyggende værktøj. Skove kan f.eks. fjerne betragtelige mængder CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, idet træer (i lighed med alle andre planter) opsamler CO<sub>2</sub> via fotosyntese og omdanner det til biomasse. Eftersom plantesamfund, der består af mange arter, generelt optager mere kulstof fra atmosfæren end samfund, der kun består af én eller nogle få arter<sup>70</sup>, er bevarelsen af biodiverse naturskove kommet stærkt i fokus som forebyggelsesværktøj via REDD-initiativet (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation – Reduktion af emissioner fra skovrydning og skovudtynding)<sup>16</sup> (session 25), (figur 14). Dets mål er en væsentlig reduktion af emissionerne af drivhusgasser, der er forbundet med konvertering af naturskove til andre jordanvendelser.

Mens REDD har stor appel, indebærer det også enorme udfordringer: Hvordan kan der etableres udgangsværdier til måling af stigninger eller fald i skovrydningen? Hvilke forhold og mekanismer – finansielle

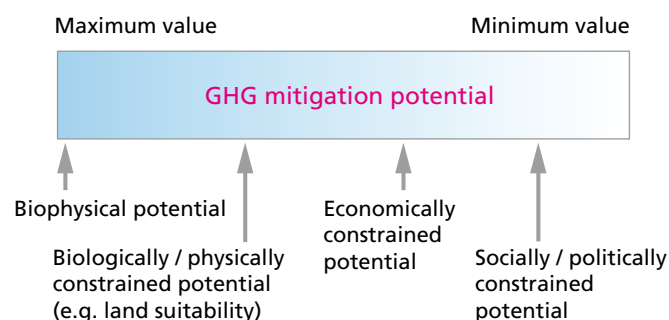
og andre – er den bedste støtte for REDD? Hvordan kan lokale befolkninger få en rimelig kompensation for at øremærke "deres" land og dets kulstofværdier til et globalt formål (hovedbudskab 4)? Hvis temperaturen stiger med 2° C eller mere, er der desuden en risiko for, at jordbaserede økosystemer, inkl. skove, bliver en nettokulstofkilde til atmosfæren som følge af stigninger i respiration og forstyrrelser, såsom brand. Tabet af skovens kulstofregulerende tjenester vil medføre en kraftig fremskyndelse af klimaændringerne<sup>16</sup> (session 38), (boks 2).

Landbruget er den mest udbredte og grundlæggende vigtige af alle menneskelige jordanvendelser, men det udsender også en væsentlig mængde drivhusgasser til atmosfæren. På den anden side kan der opnås meget signifikante og omkostningseffektive reduktioner af drivhusgasser inden for det moderne landbrug, primært via ændret forvaltning. Det er navnlig forbedret CO<sub>2</sub>-lagring i Jorden, der har et stort potentiale for at reducere emissionerne og samtidig give langsigtede forbedringer i landbrugssystemernes bæredygtighed. Dette forebyggelsespotentiale vil dog sandsynligvis ikke kunne opnås, medmindre der sættes en realistisk pris på emissionerne af drivhusgasser. Der er også såvel strukturelle, institutionelle, finansielle som uddannelsesmæssige barrierer mod ændring af landbrugets forvaltning, så den bliver mere klimavenlig<sup>16</sup> (session 24), (figur 15).

Det mest kontroversielle af alle biologibaserede forebyggelsesværktøjer er måske biobrændsler, der fremstilles af plantebiomasse og kan forbrændes til at udvikle varme og elektricitet, så de kan erstatte



**Figur 14**  
Modellerede emissioner fra skovrydning ved syv REDD-designmuligheder, fordelt på regioner. De forskellige designmuligheder er baseret på forskellige metoder til definition af det udgangspunkt, som yderligere skovrydning skal måles efter, arten af finansielle mekanismer, foranstaltninger til kontrol af intern "lækage" af skovrydning til lande med historisk lave skovrydningsrater samt andre faktorer<sup>16</sup> (session 25). Resultaterne af analysen viser, at REDD-metoden kan reducere emissionerne fra skovrydning til under det halve, uanset det enkelte designs detaljer. Resultaterne er meget forskellige fra region til region, idet Asien og Latinamerika udviser meget store emissionsreduktioner via REDD, mens fordelene er meget små i Afrika. Dermed er resultaterne langt mere afhængige af regionale forskelle end af REDD-designets karakter<sup>71</sup>.



**Figur 15**  
Konsekvenserne af forskellige begrænsninger på reduktionen af drivhusgas-forebyggelsespotentialet fra dets teoretiske biofysiske maksimum til det lavest opnåelige potentiale<sup>72</sup>. Økologiske begrænsninger, såsom næringsstof- og vandbegrænsninger, kan reducere det teoretiske biologiske potentiale for CO<sub>2</sub>-optag i produktionssystemer betydeligt. Økonomiske, samfundsmæssige og politiske overvejelser kan give yderligere begrænsninger, der medfører et realiseret niveau af CO<sub>2</sub>-optag, som er langt mindre end det teoretiske maksimum.



Teknologi	Råstoffer	Proces-teknologi	Potentiel konkurrence med føde-vare-produktion	Konverterings-effektivitet	Niveau af fødevarer-biprodukter
1. generations bioethanol	Korn, sukkerrør, rodknolde	Fermentering	Lav til høj	30-65 %	Høj
2. generations bioethanol	Rester, affald, bio-energi afgrøder	Fermentering	Lav	30-75%	Lav til høj
Biogas (metan)	Husdyrgødning, energi afgrøder, organisk affald	Mesofil fermentering	Lav til høj	60-80%	Ingen
Biodiesel	Oliefgrøder, føde-vare- & dyreaflald	Udvinding & transesterificering	Lav til høj	85 %	Lav til høj
Biomasse til væske (diesel)	Enhver biomasse, helst træ	Termokemisk	Lav	50-60%	Ingen
Biomasse til varme og el	Enhver biomasse, helst affald og rester	Termokemisk	Lav	50-65 %	Ingen
3. generations biobrændsler	Alger, halofytter, affald og rester	Termokemisk, biologisk, udvinding	Ingen	< 65 %	Ukendt

**Tabel 2**  
Sammenligning af biomasse og teknologier til energikonvertering. Bemærk den store variation i konverteringseffekt. Denne afspejler forskellen mellem tidligere teknologier og teknikens aktuelle stade. Konverteringseffekt for biomasse til varme og el er baseret på den gennemsnitlige årlige effekt<sup>73-84</sup>.

fossile brændstoffer (tabel 2). I sidste ende er det nødvendigt at have en transportsektor, der er mindre afhængig af flydende brændstoffer baseret på fossile brændstoffer. Biobrændsler er vigtige på kort sigt for at reducere anvendelsen af fossile brændstoffer til biler. På længere sigt vil de sandsynligvis erstatte fossile brændstoffer til fly og skibe<sup>16</sup> (session 18). Den begrænsende faktor er det jordareal, der kan øremærkes til produktionen af biobrændsler. Derfor ydes der i øjeblikket en stor indsats for at udvikle andengenerations biobrændselssystemer, der er baseret på "affaldsplantemateriale" i stedet for afgrøder, der dyrkes alene til energiproduktion. Ud fra dette ræsonnement samt en sammenligning af det samlede energibehov til produktion sammenlignet med det samlede energiudbytte er anvendelsen af oliefgrøder - oliepalmer, raps, solsikker og soja - ikke bæredygtig og bør derfor undgås<sup>16</sup> (session 18).

Når det gælder tilpasning, kan de sektorer, der allerede nu styres nøje af mennesket - fødevarer-systemer, skovbrug og vandsystemer - nemmest tilpasses klimaændringernes konsekvenser<sup>16</sup> (session 38). Land- og skovbrug kan f.eks. skifte til andre afgrøder eller træsorter, der kræver mindre eller tåler mere vand, eller som stadig er produktive ved høje temperaturer. Der er dog grænser for disse tilpasninger, hvis klimaændringerne er for voldsomme eller sker for hurtigt. Inden for landbruget er det ofte de samme styringsstrategier, der anvendes til forebyggelse og tilpasning, som dermed kan opnås på samme tid, hvilket giver synergetiske resultater<sup>85</sup>.

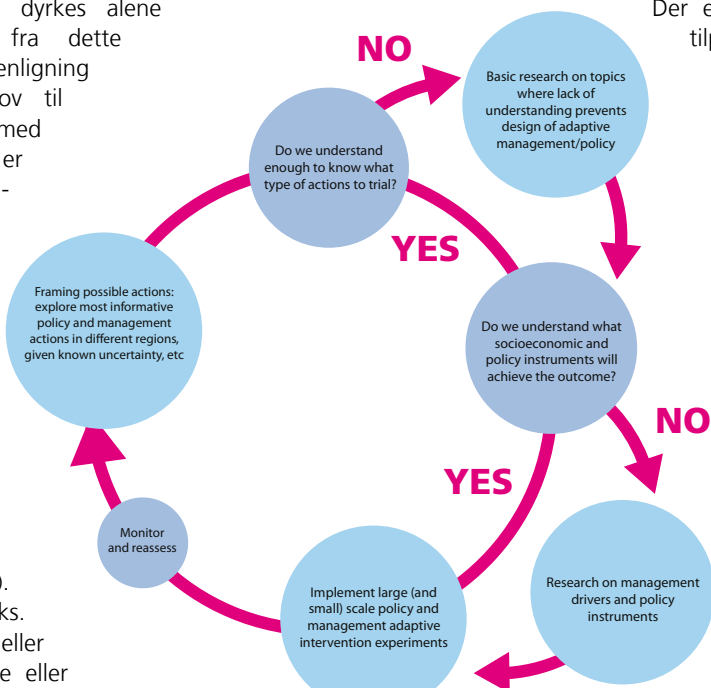
Det er vanskeligere at udvikle tilpasningsstrategier for natursystemer, der leverer de indirekte økosystemtjenester, som i sidste ende er grundlaget for menneskets trivsel. Et nyt paradigme for naturbevarelse ville være mere hensigtsmæssig set i lyset af klimaændringerne<sup>16</sup> (session 31 & 38). Dette paradigme bør primært fokusere på at styrke velfungerende økosystemers fleksibilitet. Hensigtsmæssige tilpasningsstrategier omfatter udbygning og oprettelse af forbindelser mellem fredede områder, kontrol med invasive arter samt anvendelse af aktiv tilpasningsstyring (figur 16). Nogle af de nuværende anvendte bevaringsværktøjer, såsom statiske rødlistor over truede dyrearter, små og uforbundne fredede områder samt brugen af politiske grænser som grænsekel ved udpegelse af truede arter, er ikke effektive tilpasningsværktøjer, når det gælder klimaændringer<sup>16</sup> (session 31).

Selv med de mest effektive tilpasningsmetoder vil der være et meget stort antal arter, der ikke vil overleve uformindskede klimaændringer (hovedbudskab 2). Der er intet alternativ til hurtig, effektiv forebyggelse, hvis en forværring af udryddelseskrisen skal undgås. Derudover kan der investeres i *ex situ*-bevaring – hvor man holder organismer i fangenskab eller opretholde frøbanker – i håbet om, at disse organismer en dag kan slippes fri i naturen, hvis der genoprettes de rette klimabetingelser<sup>86</sup>. *Ex situ*-foranstaltninger er dog i bedste fald kun praktisk muligt for nogle få arter.

For udviklingslandene især er det vigtigste budskab fra den aktuelle tilpasningsindsats måske, at klimaovervejelserne bør indarbejdes i såvel indenrigspolitik som udviklingsbistand. Tilpasning til klimaændringer kan ikke implementeres med et heldigt udfald, hvis det behandles som et "supplement" og implementeres særskilt i forhold til andre tiltag til fremme af økonomisk og social udvikling og forøgelse af samfundets fleksibilitet. Selvom de fulde konsekvenser af fremtidige klimaændringer endnu ikke er kendt, er en række aktuelle tendenser ved at blive synlige – ændret adgang til ferskvand, flere storme og oversvømmelser samt tørkeramte landbrugsområder.

Der er mange "no regret"-tilpasninger – f.eks. tilpasninger, der bevarer vandforsyning eller sikrer boliger – som kan implementeres nu og vil skabe fleksibilitet i samfundet med hensyn til fremtidige klimaændringer<sup>66</sup>.

Som en del af opbygningen af effektiv tilpasning er der akut behov for forskning i konsekvenserne af eksisterende politiske initiativer og potentielle fremtidige initiativer i forhold til tilpasning: Støtter eller hindrer de politiske initiativer tilpasning, og hvordan skal de ændres? Infrastrukturinvesteringer skal også betragtes i kontekst af klimatilpasning: Hvilke projekter har det bedste benefit-cost-forhold, og hvornår bør investeringsbeslutningerne træffes? Eftersom klimaudviklingen ligger tæt på worst-case fremskrivningerne, har samfundene desuden brug for tilpasningspolitik, -praksis og -infrastruktur, der kan klare ekstreme begivenheder i den alvorlige ende af sandsynlighedsfordelingen.

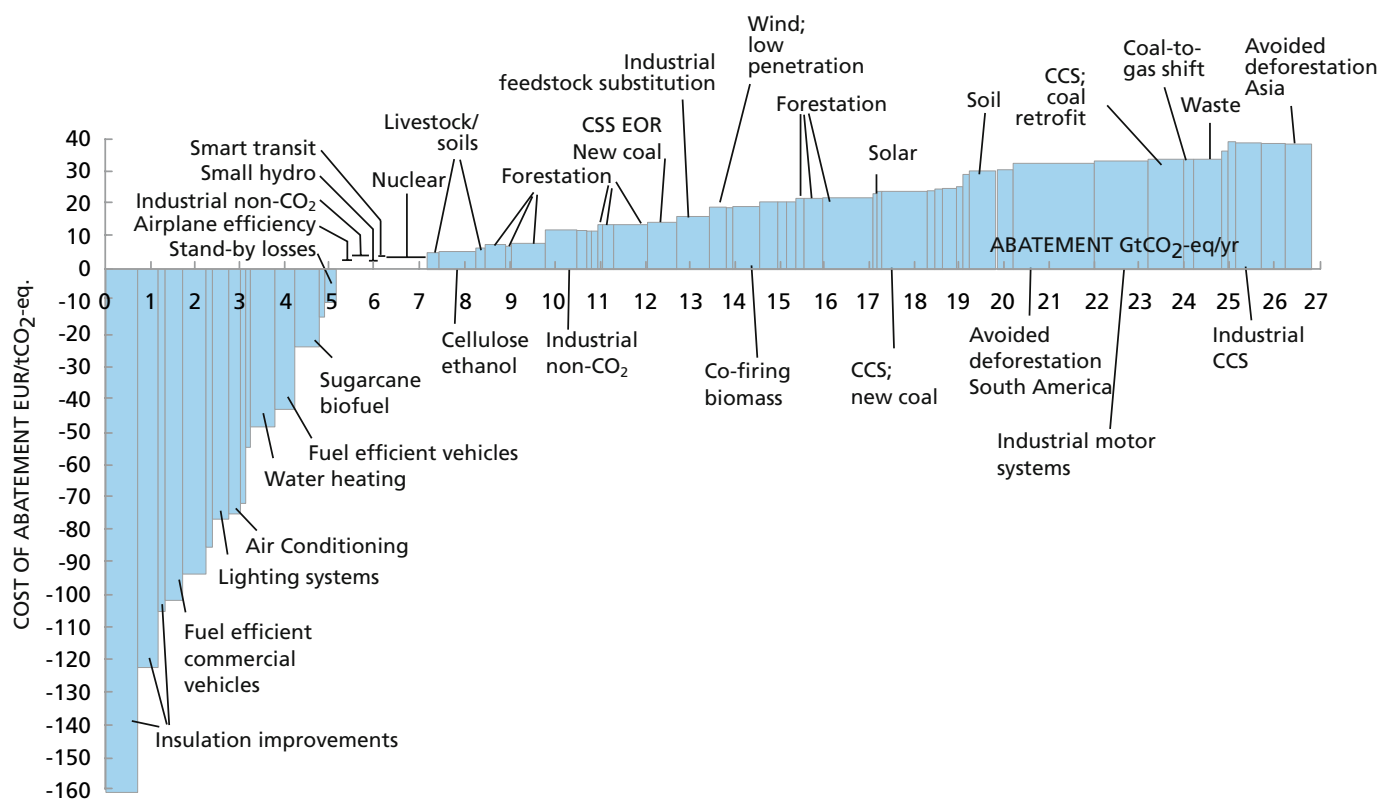


**Figur 16**  
En visuel repræsentation af aktiv tilpasningsstyring, en iterativ metode baseret på eksplisit, forsøgsbaseret udvikling af plausible styringsmuligheder<sup>72,86</sup>.

## Fordele ved dekarbonisering af økonomien

Prof. Daniel Kammen, [kammen@berkeley.edu](mailto:kammen@berkeley.edu)

BOKS 11



Noget af det vigtigste, man kan lære af det hurtigt ekspanderende miks af energieffektivitet, sol-, vind-, biobrændsels- og andre lav-CO<sub>2</sub>-teknologier, er, at anvendelsesomkostningerne er lavere end i mange prognoser, og at fordelene samtidig er større end forventet. Denne tilsyneladende "win-win-situation" bør naturligvis undersøges og løbende verificeres.

I løbet af de sidste 10 år er sol- og vindenergimarkedet vokset med over 30 % om året, og i de sidste mange år er solenergisektoren vokset med over 50 % om året<sup>91</sup>. Denne hurtige og vedvarende vækst har betydet, at omkostningerne er faldet konstant, og at der er skabt en række stadig mere forskelligartede innovative teknologier og oprettet flere nye virksomheder. De offentlige myndigheder i stadig flere byer, forbundsstater og lande finder kreative og omkostningseffektive metoder til yderligere udbygning af disse markeder.

Samtidig med at en række forskellige lav-CO<sub>2</sub>-teknologier finder vej til markedet, anvendes der stadig flere energieffektive teknologier (f.eks. intelligente vinduer, energibesparende belysning og varme-/ventilationssystemer, energibesparende produkter og effektive apparater) og praksisser. Mange af disse energieffektive innovationer har negative omkostninger over tid, dvs. at nogle investeringer i energieffektivitet kan skabe samfundsmæssige nettofordele over tid, når hele rækken af fordele (herunder forbedring af energitjenester, sundhed og arbejdsstyrkens

produktivitet) tabuleres.

Omkostningskurverne for CO<sub>2</sub>-reduktion er blevet berømte, siden det svenske elskabskab Vattenfall i samarbejde med konsulentfirmaet McKinsey udarbejdede en række estimater af omkostningerne ved indsættelse og drift af en række teknologier inden for energieffektivitet, jordanvendelse og energiproduktion. Omkostningskurverne for sparet CO<sub>2</sub> viser omkostningerne (eller besparelserne, sådan som det er tilfældet i en række "negative omkostningsmuligheder" som f.eks. opbyggelse af effektivitet) og omfanget (i gigatons) af reduktionspotentialet på et fremskrevet fremtidigt tidspunkt. De fleste estimater går til 2030.

Figuren viser de berømte "Vattenfall eller McKinsey-kurver", der giver ét sæt af disse omkostnings-/udbytteestimer, der integrerer både energieffektivitet og rene energiproduktionsteknologier – i dette tilfælde vist som et øjeblikbillede for 2030.

Der er mange flere innovationer inden for den nærmeste fremtid, også dem, der anvender innovativ kommunal finansiering til helt at fjerne startomkostningerne ved investeringer i energieffektivitet og vedvarende energi via lån, der tilbagebetales, mens de rene og effektive energiprodukter leverer deres tjenester<sup>92</sup>.



Derfor bør tilpasningsstrategier omfatte en stærk komponent af katastrofeberedskab, som lægger endnu mere vægt på styring af nødberedskabet<sup>16</sup> (session 32).

Lige så effektive og nødvendige disse forebyggelses- og tilpasningsmetoder er enkeltvis, lige så vigtig bliver integrationen af tilpasnings- og forebyggelsesaktiviteter i en systemramme, hvis man vil opnå de synergier, der fremmer den enkelte metodes effektivitet, og undgå utilsigtede resultater, hvor forebyggelsesaktiviteterne får skadelige resultater for tilpasningen og *omvendt*. Intet andet sted er behovet for integrative metoder på systemniveau mere presserende end inden for jordanvendelse. En af de største udfordringer, som det menneskelige samfund står over for i takt med den fortsatte befolkningstilvækst, er prioriteringen af jordanvendelse for at afbalancere lokale behov, såsom fødevarerproduktion og plads til boliger og erhverv, og globale behov, såsom fjernelse af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, produktion af biomasse til energi og biobrændsler samt beskyttelse af biodiversitet.

I dag dyrkes ca. 12 % af Jordens landområder intensivt<sup>88,89</sup>, og meget større områder anvendes som græsningsareal for husdyrproduktion. Omtrent 70 % af det ferskvand, der anvendes af mennesker, allokeres til landbruget<sup>90</sup>. Idet efterspørgslen efter fødevarer fortsætter med at stige i takt med befolkningstilvæksten, efterspørgslen efter jordbaserede forebyggelsesaktiviteter stiger, samt behovet for "naturjord" vokser, er samfundet under pres for at sikre en retfærdig styring af den

konkurrence om jord og vand, der er uden fortilfælde på alle planer, lokalt såvel som globalt.

Mange af ændringerne i klodens landoverflade skyldes levering af økosystemtjenester til en stadig større bymæssig befolkning. Lige over halvdelen af alle mennesker bor nu i byer, men byområderne tegner sig for ca. 75 % af menneskehedens drivhusgasemissioner, enten direkte eller indirekte<sup>16</sup> (session 33). Mange byer er også særligt sårbare over for virkningerne af klimaændringerne, såsom ekstreme vejrbegivenheder og stigende vandstand. Dette har fået FN til at erklære, at kampen mod klimaændringer vil blive vundet eller tabt i byerne<sup>16</sup> (session 33), og det gør en integreret tilgang til tilpasning og forebyggelse i byområder særligt vigtig (boks 12).

Samfundet har kort sagt mange værktøjer, det kan bruge til både at fremme forebyggelsen af klimaændringer og tilpasningen til de konsekvenser, der ikke kan undgås, men hvordan disse værktøjer skal videreudvikles og anvendes debatteres stadig<sup>16</sup> (session 40, 41 & 43). Samfundet har også en række økonomiske metoder til fremme af anvendelsen af disse værktøjer og fremme af det energiskifte, der er nødvendigt for at begrænse den globale opvarmning (boks 8). De centrale manglende ingredienser til at opnå det samfundsskifte, som klimaændringerne kræver, er den politiske vilje og samfundsmæssige accept af behovet for ændringer.

## Klimaændringer og byområder

*Prof. Roberto Sanchez Rodriguez, [roberto@ucr.edu](mailto:roberto@ucr.edu)*

### BOKS 12

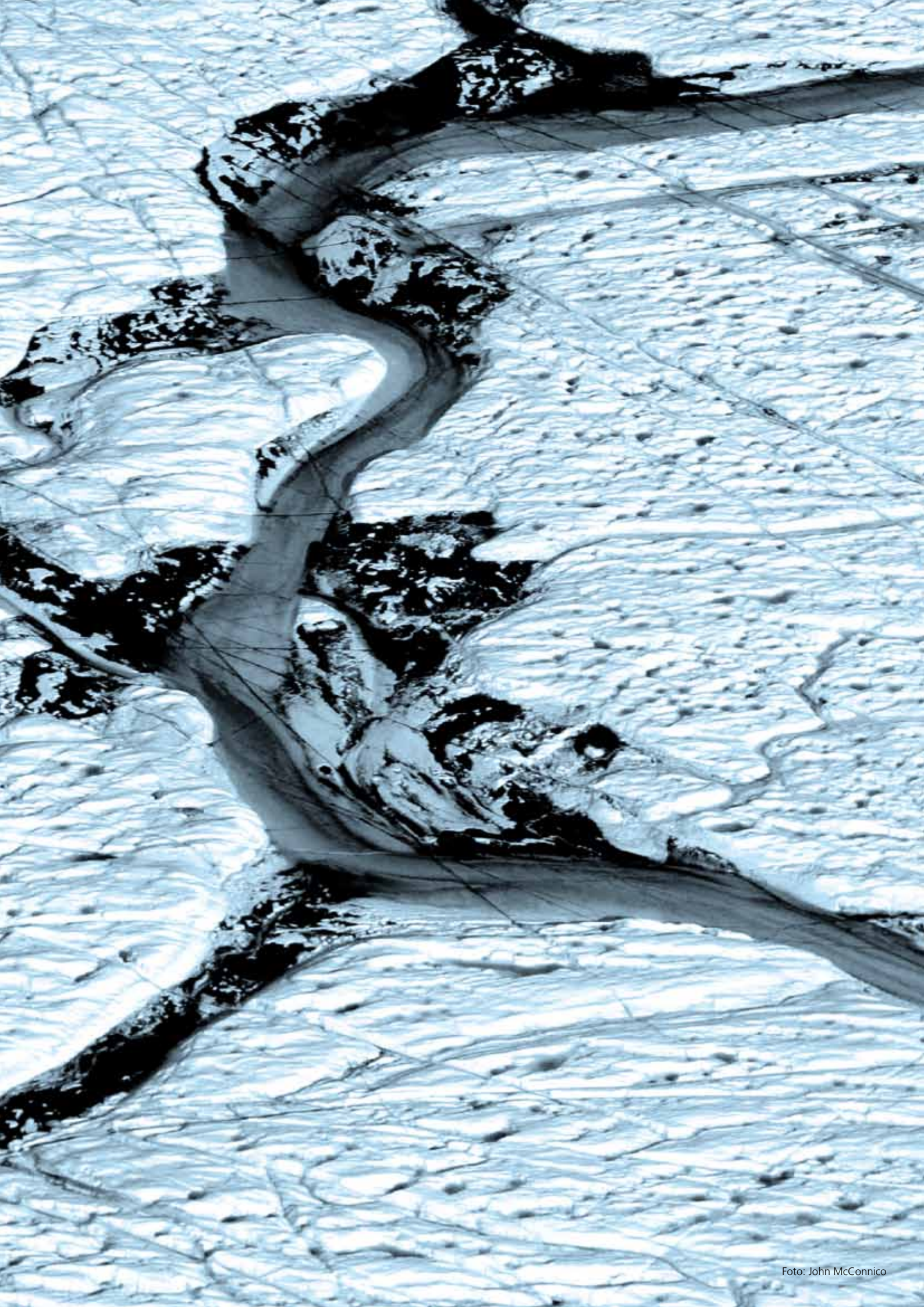
Klimaændringer er mere end et miljøproblem – det er også en stor udviklingsudfordring for byområderne. Byområder er meget sårbare over for de kriser og katastrofer, der er forbundet med klimavariabilitet og klimaændringer. Deres kumulative konsekvenser har alvorlige økonomiske og menneskelige omkostninger, fører hurtigt til alvorlige flaskehalse eller nødsituationer i leveringen af nøgleressourcer såsom vand, energi og fødevarer samt påvirker et meget stort antal menneskers leveforhold. FN anslår, at i alt 2,5 milliarder mennesker blev berørt af katastrofer mellem 1995 og 2004, og heraf var 75 % knyttet til ekstremt vejr.

Reduktion af den samfunds- og bymæssige sårbarhed og forbedring af tilpasningen til klimaændringernes konsekvenser giver udvidede samfundsmæssige, økonomiske, sundhedsmæssige og miljømæssige fordele for lokale og nationale regeringer. Vigtige elementer i tilpasningsstrategierne er bl.a. fattigdomsbekæmpelse, forbedring af levebrødsstrategier, opbygning af humankapital, beskyttelse af miljøaktiver, fremme af folkesundheden samt skabelse af muligheder for en bæredygtig udvikling. Der er også et akut behov for at indarbejde tilpasningskriterier i designet og planlægningen af

anlægsmiljøet: byens infrastruktur, bygninger og transport. Infrastrukturens levetid er ofte over 75 år, og byggeri og anlæg, der opføres nu, skal fungere under andre klimaforhold i de kommende årtier. Aktuelle investeringer tager kun sjældent hensyn til klimaændringernes potentielle konsekvenser, der kan komme til at forårsage fejlfunktioner i deres drift.

Indarbejdelse af multidimensionelle tilpasningsstrategier i aktuelle byudviklingsstrategier vil effektivt udnytte knappe finansielle, tekniske, menneskelige ressourcer og naturressourcer, navnlig i fattige lande og udviklingsøkonomier. Et vigtigt skridt i denne retning er at hjælpe politikere, byplanlæggere og interessenter med at indarbejde tilpasningsstrategier og definere alternative og bæredygtige veje til bymæssig vækst. Der er en enestående mulighed for at integrere udviklings-, forebyggelses- og tilpasningsstrategier og dermed skabe mere fleksible byområder. Yderligere forsinkelser i udviklingen og indførelsen af tilpasningsstrategier vil få alvorlige konsekvenser for millioner af byboere og i sidste ende lokale og nationale økonomier.







## HOVEDBUDSKAB 6

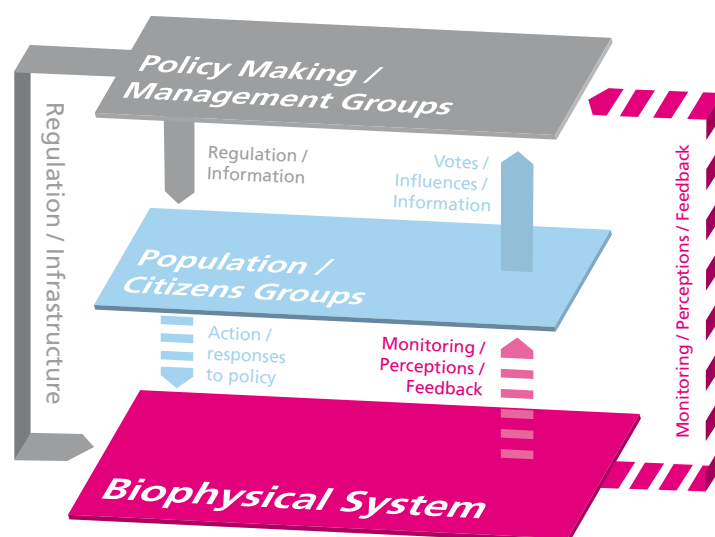
# TAG UDFORDRINGEN OP

Der skal overvindes en række væsentlige barrierer og gribes fat i nogle centrale muligheder, hvis den samfundsmæssige omstilling, der er nødvendig for at takle udfordringen fra klimaændringerne, skal opnås. Bl.a. kræves en reduktion af trægheden i de sociale og økonomiske systemer, udnyttelse af et voksende ønske i offentligheden om politisk handling i forhold til klimaændringerne, afskaffelse af aktiviteter, der øger emissionerne af drivhusgasser og reducerer fleksibiliteten (f.eks. støtteordninger) samt skift fra ineffektiv regeringsførelse og svage institutioner til innovativ styring i den offentlige og private sektor og civilsamfundet. Hvis samfundet skal omstille sig til en mere bæredygtig udvikling, er det vigtigt at skabe en forbindelse mellem klimaændringer og et bredere bæredygtigt forbrug, produktionsovervejelser, menneskerettigheder og demokratiske værdier.

De beviser, der blev præsenteret tidligere om arten af de farlige klimaændringer (hovedbudskab 1 og 2), de veje til emissionsreduktion, der er nødvendige for at undgå farlige klimaændringer (hovedbudskab 3) samt behovet for at tage denne udfordring op på en retfærdig måde (hovedbudskab 4) sender tilsammen et klart og stærkt budskab – "business-as-usual er død"<sup>39</sup>. Marginale ændringer af det moderne samfunds aktuelle samfundsmæssige og teknologiske forløb vil ikke være nok til at fremme det samfundsskifte, der er nødvendigt for at holde klimaændringerne inden for et 2° C-værn. Der findes i dag mange teknologiske og styringsmæssige værktøjer samt politiske metoder, der kan anvendes som drivkræfter til den nødvendige transformation (hovedbudskab 5). Udfordringerne går i sidste ende ud på at udløse, fremme og støtte denne transformation – fjerne barriererne og gribe de mange muligheder, der ligger i en sådan samfundsmæssig transformation.

Den forskning, der er nødvendig for at informere om og støtte en større samfundsmæssig transformation, ligger primært inden for humaniora, der har været langt mindre fremtrædende i diskursen om klimaændringerne end naturvidenskab og økonomi. Men humanioras indsigt i menneskelige kulturer, adfærd og organisation er afgørende for at kunne tage udfordringen fra klimaændringerne op.

Det moderne samfunds forandring til en mere bæredygtig fremtid skal finde sted på mange planer – fra individ- over institutions- til regeringsplaner – og på mange niveauer – fra ændringer af den daglige adfærd til en revurdering af kerneværdier, overbevisninger og verdensanskuelser (boks 13). Faktisk afspejler det sprog, der anvendes i diskussionen om menneskeskabte klimaændringer, ofte tilgrundliggende verdensanskuelser. Et fokus i den politiske proces på "drivhusgasreduktioner" og "deling af byrden" forstærker f.eks. opfattelsen af, at forebyggelse af klimaændringerne er et onde, der så vidt muligt skal undgås. Fokus på fordelene ved at undgå de alvorlige konsekvenser af uformindskede klimaændringer eller på de økonomiske og beskæftigelsesmæssige muligheder, som dekarbonisering af økonomien (boks 11) giver, bygger på den anden side på verdensanskuelser, der er meget mere positive og optimistiske.



Figur 17

Typiske samspil i regeringssystemer med flere niveauer, hvor borgergrupper kan spille en central rolle som mæglere mellem politisk planlægning på regionalt eller nationalt plan og den konkrete forvaltning af biofysiske systemer, der ofte finder sted på lokalt plan. Sådanne fagligt organiserede processer på flere niveauer kan bidrage til at reducere niveaumisforholdet og den politiske mangel på sammenhæng samt støtte integrerede samfunds- og lovmæssige ændringer<sup>93</sup>.

Mange verdensanskuelser understreger betydningen af regeringshandling i taklingen af klimaændringerne, og dog kan meget opnås ved at anerkende og opmuntre en bred række ikke-statslige aktører, som anvender "social-practice"-metoder til at bygge på enkeltpersoners og små gruppers frivillige indsats<sup>16</sup> (session 48). Ændring af adfærd er et centralt element for enhver transformation, og erfaring og samfundsmæssig læring giver stort håb for fremtiden (boks 14).

Enkeltpersoner kan ikke alene løse klimaændringsproblemer, og det kan nationale regeringer heller ikke. En lang række andre organisationer – multinationale selskaber og andre erhvervsgrupper, miljø-NGO'er, videnskabelige forskningsorganisationer og subnationale regeringsorganer – er afgørende for at udvikle en samfundsmæssig reaktion. Især erhvervssamfundet insisterer i stadig højere grad på



## Kulturer, værdier og verdensanskuelser som faktorer i reaktionerne på klimaændringerne BOKS 13

Prof. Karen O'Brien, [karen.obrien@sosgeo.uio.no](mailto:karen.obrien@sosgeo.uio.no) & prof. Thomas Heydt, [heydt@uvic.ca](mailto:heydt@uvic.ca)

Ingen klimaændringspolitik får den opbakning, den har brug for, hverken formelt på den politiske arena eller på det pragmatiske, daglige plan, medmindre der fra starten tages hensyn til kulturer, værdier og verdensanskuelser. Det er der enkle årsager til. For det første modtages end ikke de mest avancerede videnskabsbaserede oplysninger og risikovurderinger nødvendigvis i samme forstand, som de opfattes af dem, som udarbejder dem. For det andet skal politikken tage højde for den samfunds-kulturelt skabte baggrund, der går forud for forsøget på at gennemføre politikken, hvis den skal være effektiv. Følgende punkter understreger betydningen af dette hovedresultat:

- Information om klimaændringer og lokale fortolkninger af risikovurderinger formidles kulturelt via særlige emotionelle måder at ræsonnere på, typiske betydningskabende processer, særlige opfattelser af landskabs- og klimavariabilitet og klimaændringer samt idiosynkratiske forestillinger om risikoforebyggelsen.
- Lokale religiøse og åndelige anskuelser, videnssystemer, forståelse af forhold mellem naturen og samfundet samt værdier og etik påvirker den måde, hvorpå enkeltpersoner og samfund opfatter og reagerer på klimaændringer. Klimaændringsvidenskab skal anerkende disse lokale og indfødte kulturelle og eksperimentelle sammenhænge og forsøge at relatere til dem i forbindelse med

- planlægningen af samfundsmæssige forebyggelses- og tilpasningsaktiviteter. Gennemførelsen af tilpasningsstrategier kan rejse spørgsmål, der går på tværs af magtforhold, i eksisterende ulige relationer, hvilket kan have uforudsete langsigtede virkninger for enkeltpersoner og samfund. Der kræves derfor tilgange, som afføder åbne, demokratiske og beslutningskabende drøftelser. De samfundsmæssige og kulturelle følger af reaktionerne på klimaændringer skal med andre ord vurderes, herunder også spørgsmålet om, "hvilke værdier tæller?"

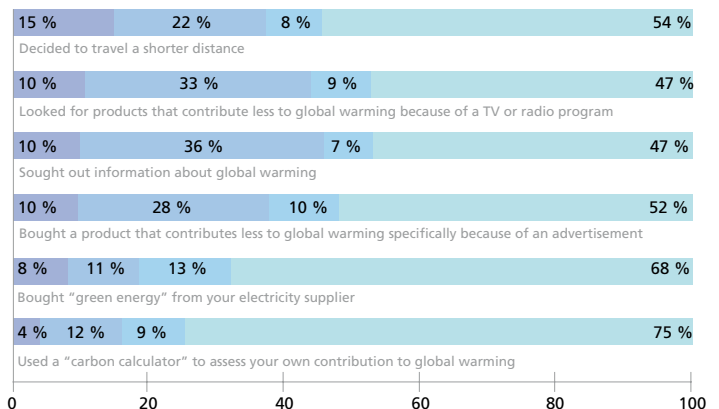
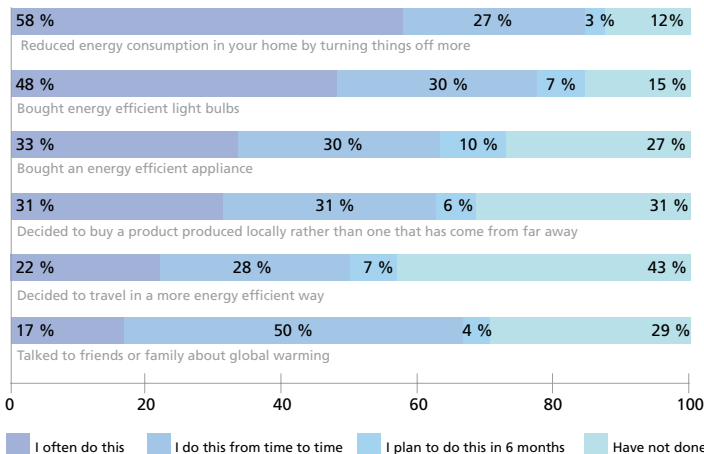
Forskning i kulturens, værdierne og verdensanskuelsens rolle i såvel frembringelsen af og reaktionerne på klimaændringer bør få topprioritet. Klimaændringernes kulturelle og erfaringsmæssige dimensioner skal integreres i mere standardiseret, systemorienteret forskning i klimaændringer og skal indgå i forskningen i både forebyggelse og tilpasning samt implementeringsprogrammer. Denne konklusion argumenterer for, at samfundsvidenskab og humaniora skal spille en ny og større rolle i forbindelse med taklingen af udfordringerne ved klimaændringerne og foreslår en egentlig tværfaglig og integreret forskningsdagsorden, der placerer klimaændringerne i en meget videre og dybere samfundsmæssig kontekst.

## Betydningen af adfærdsændringer

Prof. Diana Liverman, [liverman@u.arizona.edu](mailto:liverman@u.arizona.edu)

## BOKS 14

### What Have You Done to Reduce Your Impact on Climate Change? (US & UK combined)



Enkeltpersoners handlinger for at reducere deres bidrag til klimaændringerne. Dataene er baseret på en undersøgelse af 2.734 borgere i USA og Storbritannien foretaget af Accountability, juni 2007, *What Assures Consumers on Climate Change?* <sup>94</sup>.

Enkelte borgere kan spille en vigtig rolle i reaktionen på klimaændringerne, især når de beslutter at reducere deres drivhusgasemissioner eller tilpasse sig klimaændringerne. Offentlig støtte er også vigtig for, at nationale og regionale regeringers tiltag får succes, ligesom offentlige opfattelser kan hindre accepten af forebyggelsesteknologier. Der er betydelige evidenser for, at adfærdsændringer hos enkeltpersoner kan bidrage til at reducere emissionerne, især fra husholdninger og transport, og hvis de støttes af regeringspolitik, incitamenter og aktiviteter i den private sektor (se figuren). Mange af de billigste reduktioner i drivhusgasemissionerne ligger i boligsektoren, hvor anvendelsen af isolering, effektive elektriske apparater og belysning samt information fra intelligente målere og forbrugsregninger hurtigt kan reducere energiforbruget og blive til en økonomisk nettobesparelse i stedet for en omkostning (boks 11).

Adfærds- og holdningsændringer er også vigtige, for så vidt angår politiske og erhvervs-mæssige ledere, hvor f.eks. virksomhedsledere og borgmestre forpligter sig til betydelige emissionsreduktioner, der strækker sig langt ud over nationale politiske forpligtelser eller simple cost-benefit-analyser. Hvad tilpasning angår, har millioner af landmænd tilpasset deres praksis til tidligere klimaforandringer og træffer allerede nu beslutninger som reaktion på opvarmningen og andre forandringer i forbindelse med klimaændringerne. Den internationale politik skal støtte, og sørge for ikke at skabe barrierer for, enkeltpersoners handling som reaktion på klimaændringer og anerkende betydningen af at give relevant information til borgerne, så de kan træffe velinformerede beslutninger om at bakke op om politikken og ændre deres egen adfærd<sup>16</sup> (session 20)<sup>62,95</sup>.

behovet for politiske rammer, der skaber et positivt miljø for investeringer og ændringer. Nogle elementer af et sådant miljø er: (i) Handlingsfællesskaber, der skaber en fælles strategi, også selvom der ikke er overensstemmelse mellem tilgrundliggende motiver, (ii) tillidsskabelse mellem erhvervslivet og civilsamfundet samt (iii) lederskab, der bemyndiger personer og støtter læring og styring af tilpasning<sup>16</sup> (session 48 & 54).

Civilsamfundet – samfundet og interessenter – engagerer sig i klimapolitikken på flere måder (figur 17). En central faktor for mange af disse metoder er interessenthøringer eller -engagementer. Engagementet skal være tovejs – det skal ikke kun videregive information fra eksperter, men også hente information tilbage fra samfundet<sup>16</sup> (session 39). Informationsudveksling via medierne er imidlertid en stor udfordring, eftersom klimaspørgsmålet ofte præsenteres som en "stor



global opvarmningsdebat" i stedet for en afbildning af den udbredte enighed, der findes inden for videnskaben, og af de kompleksiteter og subtiliteter, der findes i grænsefladen mellem videnskab og politik<sup>16</sup> (session 53 & 54).

Samfundsbase­rede reaktioner på udfordringen fra klima­ændringerne kan oftest være mest effektive, hvis de er baseret på en blanding af lokal viden, lokale erfaringer og ekspertbidrag. Uddelegering af ansvar er et centralt koncept, der bedst opnås ved nøje at definere formålet med inter­es­sen­ten­ga­ge­mentet og strukturere processerne for at give samfundets medlemmer fuld deltagelse. At bevæge sig fra samfundsengagement til samfundshandling – et almindeligt resultat af effektivt engagement – kræver proaktive overvejelser om hvilke institutioner, ressourcer og tekniske foranstaltninger, der er nødvendige for at gennemføre disse tiltag<sup>16</sup> (session 54).

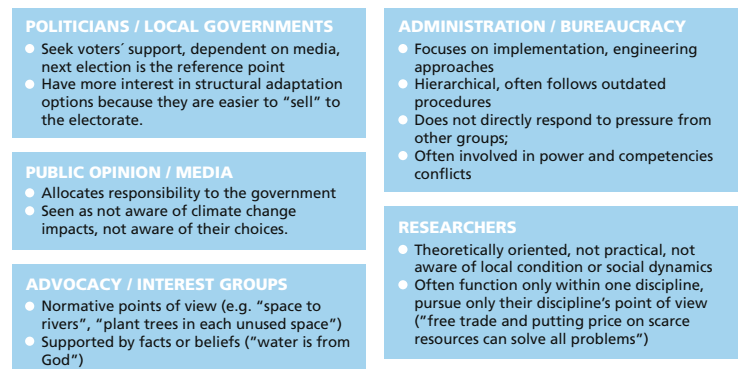
Økonomiske instrumenter, såsom "emissions pricing" og mere generelt markedsbaserede tilgange er centralt vigtige på nationalt og globalt plan. Der kan dog være brug for yderligere tilgange. F.eks. kunne en nationalt baseret, men globalt koordineret investeringsstrategi, måske baseret på de muligheder, der er opstået med den globale finanskris­e, aktivt fremme klimavenlige udviklingsveje og opnå teknologispredning og emissionsreduktioner hurtigere end, hvad der kan opnås med markedsinstrumenter alene. Set i lyset af klima­ændringernes akutte udfordringer (hovedbudskab 1) vil "front-loading" – f.eks. et stort og omgående fremstød for investeringer i effektivitet og vedvarende energisystemer – sandsynligvis være mere effektiv end anvendelse af en mere gradvis tilgang<sup>16</sup> (session 55). Andre visionære tilgange på bredt regionalt eller globalt plan kan være nødvendige for at forandre måden, vi administrerer vores forhold til Jordens miljø på. En af disse tilgange kunne være at overveje en helt ny global fordeling af jordanvendelsesaktiviteter, der ville medføre en væsentlig forbedring af det geografiske mønster af fødevarer- og fiberproduktion, biodiversitetsbeskyttelse, infrastruktur og energiproduktion (boks 15).

Der ligger en lige så stor udfordring i at ændre det internationale landskab af regeringer fra en række enkeltregimer eller regeringssystemer til en innovativ, integreret institutionel arkitektur for "Earth System governance" (Jordsystemregering). En vellykket strategi for opbygning af en sådan arkitektur må være multidimensionel og nøje koordineret, baseret på en række eksisterende institutionelle ordninger: (i) andre miljøregimer, såsom Biodiversitetskonventionen (CBD), (ii) internationale handels- og finansmekanismer, såsom Verdenshandelsorganisationen WTO og Verdensbanken samt (m) udviklingsorienterede organisationer, der arbejder med fattigdomsbekæmpelse, såsom Den Globale Miljøfacilitet (GEF) samt regionale udviklingsbanker. I sidste ende

kræves der en mosaik af tilgang beregnet på at skabe et integreret regeringssystem til at tage udfordringen fra klima­ændringerne op<sup>16</sup> (session 48).

I demokratiske politiske systemer vil de enkelte vælgere kun støtte den transformative ændringer – fra pragmatiske ændringer i lokal praksis til opbygningen af nye multinationale energi- og transportsystemer samt nye institutionelle regimer – hvis deres værdier er så dybe og stærke, at de er i stand til at træffe vanskelige, langsigtede beslutninger (boks 13). Dermed er der ingen klima­ændringspolitik, der vil lykkes, medmindre kulturer, verdensanskuelser og kerneværdier ændrer sig på måder, der støtter udviklingen af en effektiv politik og dens gennemførelse<sup>16</sup> (session 54 & 57).

Videnskabelig information, teknologier og økonomiske instrumenter indgår alle i løsningen, men deres fortolkning og anvendelse formidles via enkeltpersoners og samfunds kulturer og verdensanskuelser (figur 18). Religiøse og åndelige anskuelse, indfødte folks videnssystemer, forståelse af forhold mellem naturen og samfundet, værdier og etik påvirker den måde, hvorpå enkeltpersoner og samfund opfatter og reagerer på klima­ændringer<sup>16</sup> (session 57). I sidste ende vil disse menneskelige dimensioner af klima­ændringerne afgøre, om menneskeheden vil ende med at gennemføre den store omstilling, der er i sigte i begyndelsen af det 21. århundrede, eller om menneskeheden afslutter århundredet med en "elendig tilværelse i en verden, der er 5° C varmere"<sup>101</sup>.

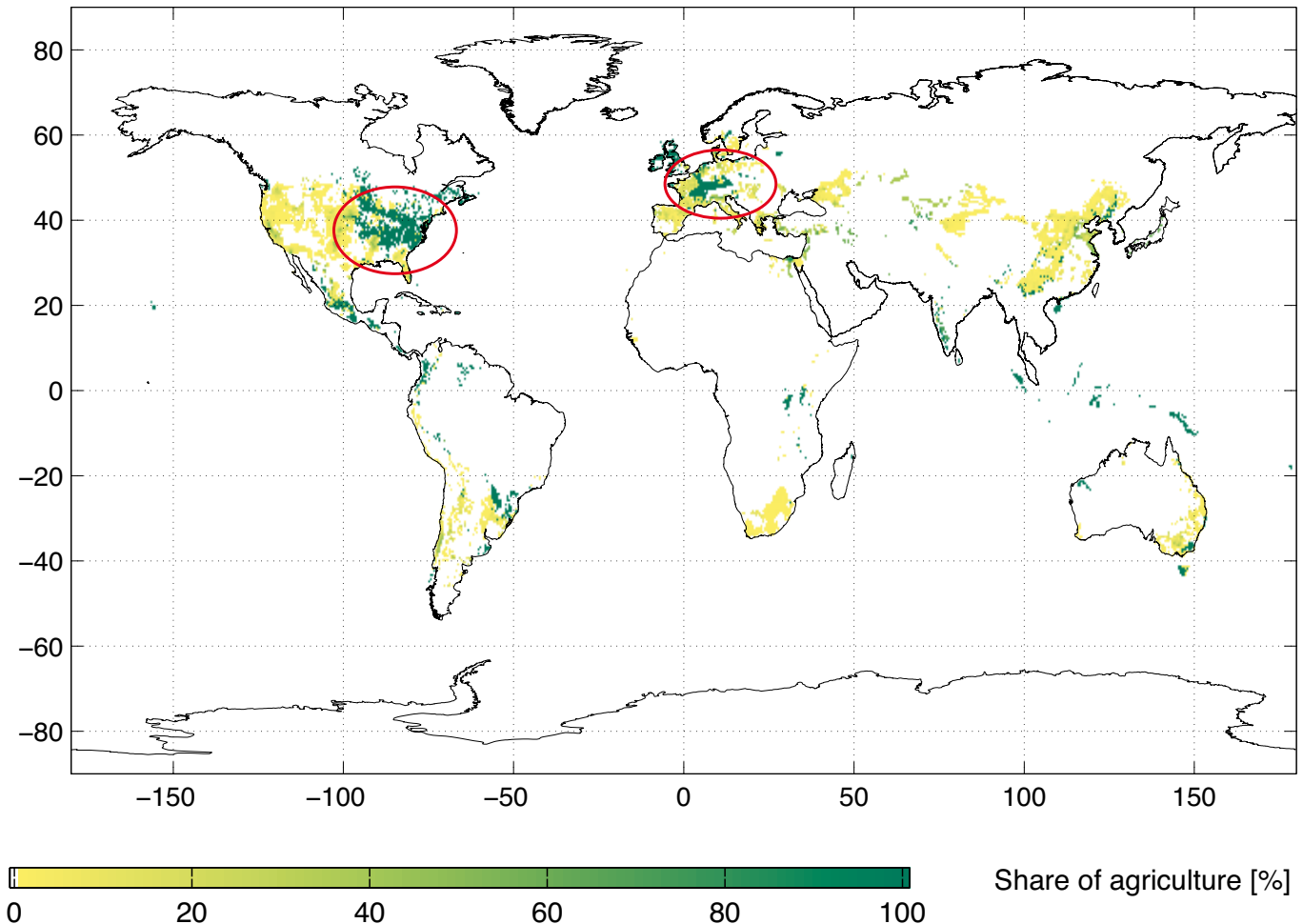


**Figur 18**  
Grupper af fælles mentale modeller. Mentale modeller er forskellige i forskellige samfundsgrupper og påvirker den måde mennesker opfatter klimaspørgsmålet på. De er vanskelige at ændre og kan skabe barrierer for kommunikation og handling<sup>99</sup>. Derfor er det en vigtig udfordring for at tackle klima­ændringerne effektivt, at der skabes konsensus i hele samfundet om arten af truslen fra klima­ændringerne og den overordnede strategi til at tackle den. Faktisk skal der skabes én enkelt mental model på højt niveau – eller ét enkelt mentalt perspektiv. Uden en sådan vil effektiv klimahandling og politisk handling ikke være sandsynligt.

## Mod en stor ændring i jordanvendelsen?

Prof. Hans Joachim Schellnhuber, [John@pik-potsdam.de](mailto:John@pik-potsdam.de) & Veronika Huber [huber@pik-potsdam.de](mailto:huber@pik-potsdam.de)

BOKS 15



Rangorden for globale lokaliteter efter egnethed til fødevareproduktion under nuværende forvaltningspraksis (tilpasset fra<sup>98</sup>). De røde ellipser markerer de bedst egnede områder til at blive betragtet som "globale fælles landbrugsarealer".

Hvis den globale opvarmning skal holdes på under 2° C, kræver det al vores opfindsomhed at gøre eksisterende strukturer klimavenlige, men der er også brug for store foranstaltninger for at sikre forandringer. Det er især klodens nuværende jordanvendelsesmønstre, der skal ændres grundlæggende, eftersom det er det suboptimale resultat af tilfældige historiske processer, der har været blinde over for hensynet til global bæredygtighed. Klodens fremtidige jordanvendelse skal tage højde for flere konkurrerende efterspørgsler efter fødevarer og fibre, energi, tjenester, infrastruktur og bevarelse fra 9 milliarder mennesker – på en jordoverflade, der ikke kan udbygges. Nye udfordringer, såsom oprettelse af kunstige kulstofdræn via biologisk CO<sub>2</sub>-sekvstrering, skal muligvis tages op for at undgå farlige klimaændringer<sup>96</sup>.

Videnskaben skal vise, (i) hvordan et "optimalt" jordanvendelsesmønster kan se ud, (ii) hvordan dette mønster vil garantere produktionen af tilstrækkelige mængder af de ønskede funktioner og ressourcer, samt (iii) hvilke samfundspolitiske strategier der skal til for at gennemføre den tænkte transformation i god tid. Det internationale forskersamfund er først lige begyndt at tage fat om disse emner, og alligevel findes der allerede nu en vis indsigt i de to første aspekter.

German Global Change Advisory Council (WBGU) har f.eks. for nyligt offentliggjort flere rapporter, der identificerer de områder på Jorden, som bør øremærkes til hhv. biodiversitetsstøtte, biomasseproduktion og udnyttelse af vedvarende energi<sup>97</sup>. En vigtig konklusion er, at skovrydningen af forringet jord kan udnytte et bæredygtigt bioenergi-potentiale på ca. 100 exajoule. Analyser under ledelse af Potsdam-instituttet<sup>98</sup> viser også, at 12 milliarder mennesker med 1995-kostvaner kunne ernæres med mindre end 1/3 af det nuværende landbrugsområde – hvis de bedst egnede steder blev anvendt til de mest egnede afgrøder, og hvis den globale fødevarehandel fungerede uden at blive forhindret af protektionisme. Denne dristige tilgang ville dog kun kunne lade sig gøre, hvis de bedste steder (som vist i figuren) bliver krævet tilbage til/forbeholdt landbrug som et led i en langsigtet global aftale – på samme måde som de tropiske regnskove forhåbentligt vil blive øremærket til bevarelse som en del af de globale fællesarealer.



# VEJEN FREM

Mange tidligere miljøproblemer er blevet løst, når mennesker opdagede, at deres egne aktiviteter havde følger, der skadede deres sundhed og trivsel. De reagerede ved at ændre adfærd og udvikle nye teknologier. Vil vores moderne samfund reagere på samme måde på den udfordring fra klimaændringerne, som vi nu står overfor? Klimaændringerne er fundamentalt forskellige fra de miljøproblemer, som menneskeheden hidtil har klaret. De risici, skalaer og uvisheder, som er forbundet med klimaændringerne, er enorme, og der er en væsentlig sandsynlighed for et altødelæggende udfald på globalt plan.

Arten af den udfordring klimaændringerne stiller os overfor, kræver en visionær og innovativ tankegang. Konceptet om planetariske skel<sup>100</sup>, der sigter på at definere menneskeheden "sikre brugsområder", trækker på tidligere erfaringer fra samfund, der tilpassede deres adfærd, når de blev klar over de uønskede følger af deres handlinger. Planetariske skel defineres i forhold til Jordens biofysiske tærskler, hvis overskridelse ville få katastrofale følger for samfundene (se tipping elements, hovedbudskab 2). Videnskabelig evidens tyder stærkt på, at der er en øvre grænse for koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren eller en "klimaændringsgrænse", som menneskeheden bør arbejde inden for for at reducere risiciene for katastrofale resultater. Selvom den præcise position endnu ikke er kendt, viser aktuel evidens, at menneskeheden hurtigt nærmer sig eller måske endda har overskredet grænsen<sup>16</sup>. Behovet for hurtige og drastiske reduktioner af emissionerne af drivhusgasser er derfor akut, hvis alvorlige klimakonsekvenser skal undgås.

Det kan ofte forekomme overvældende vanskeligt at leve inden for en udfordrende grænse for klimaændringerne. Der findes ingen enkel traktatmæssig eller teknologisk mirakelløsning, der hurtigt og smertefrit ændrer det moderne samfund. Omstilling til et samfund, der lever inden for grænsen for klimaændringer, tager tid og kræver forpligtelser fra alle samfundsniveauer og -medlemmer. Som udgangspunkt er

langsigtede mål for emissionsreduktioner afgørende, hvis samfundet ønsker at reducere risikoen for farlige klimaændringer til acceptable niveauer. Forløb fungerer som vejvisere mod opfyldelse af målene, men der er mange mulige veje, som menneskeheden kan følge for at holde sig inden for den overordnede grænse for klimaændringerne.

Dermed kan samfundet anno 2009 ikke præcist fastlægge den "rigtige" eller "bedste" vej hele vejen til 2050 og derefter. Der er teknologiske, samfundsmæssige og værdibaserede ændringer i fremtiden, som vil få forløbet til at ændre sig. Der bør ikke være nogen straf for ikke at finde den helt rigtige løsning første gang. Det vigtigste er at begynde på rejsen nu. De første skridt går ud på at skabe en bred dialog på alle niveauer i samfundet og skabe konsensus om behovet for at handle. Når det gælder reaktionen på menneskeskabte klimaændringer, er det formodentligt sådan, at "den eneste utilgivelige handling er ikke at handle"<sup>101</sup>.

Denne synteserapport, der er baseret på diskussionerne og resultaterne fra IARU International Scientific Congress *Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions*, opsummerer den nyeste viden om klimaændringer fra forskersamfundet: – naturvidenskabsfolk, samfundsvidenskabsfolk, økonomer, ingeniører og humanister. Enigheden om, at menneskelige aktiviteter ændrer de grundlæggende betingelser for livet på Jorden, er overvældende, og de udfordringer, der følger af disse ændringer, er forfærdende. Hvis handling udsættes, vil det kun øge de risici, som fremtidige generationer udsættes for. Selvom intet enkelt møde kan ændre vores samfund til et, der ligger inden for grænsen for klimaændringer, byder FN's Klimakonference, COP15, der afholdes i december 2009, langt om længe på en unik mulighed for at starte denne omdannelsesrejse. Mange håber, at hvis det lykkes samfundet at tage udfordringen fra klimaændringerne op, vil fremtidige generationer kunne læse i deres historiebøger, at COP15 var dér, hvor rejsen virkelig begyndte.



## Tabelliste:

Tabel 1: Karakteristika for stabiliseringsscenarier, s. 19

Tabel 2: Sammenligning af biomasse og teknologier til energikonvertering, s. 28

## Figurliste

Figur 1: Ændring i vandstand fra 1970 til 2008 i forhold til vandstanden i 1990, s. 8

Figur 2: Ændringen i energiindhold i forskellige komponenter af Jordens system i to perioder: 1961-2003 og 1993-2003, s. 8

Figur 3: Ændringer i overfladeluftens globale gennemsnitstemperatur (udjævnet over 11 år) i forhold til 1990, s. 9

Figur 4: Ændring i havenes varmeindhold siden 1951, s. 9

Figur 5: Tendenserne i de atmosfæriske koncentrationer for drivhusgasserne (A) kuldioxid, CO<sub>2</sub>, i ppm (parts per million) fra 1958 til i dag, (B) metan, CH<sub>4</sub>, i ppb (parts per billion) fra 1979 til i dag og (C) kvælstof, N<sub>2</sub>O, i ppb (parts per billion) fra 1978 til i dag, s. 11

Figur 6: (A) Antallet af tropiske orkaner i Nordatlanten for hver maksimal vindhastighed vist på den vandrette akse. (B) Den proportionale stigning i orkankategori i forbindelse med stigninger i de maksimale vindhastigheder på 1, 3 og 5 m/s., s. 12

Figur 7: Kort over potentielle klimatiske "tipping elements", s. 14

Figur 8: Diagram vedrørende klimaændringernes potentielle konsekvenser for stigningen i den globale middeltemperatur, s. 16

Figur 9: Energi-relaterede emissionsforløb fra 2000 til 2100 for at stabilisere drivhusgasserne i atmosfæren ved tre forskellige mål, s. 20

Figur 10: Fremskrevne følger af klimaændringerne på landbrugsproduktionen i 2030, udtrykt som en procentvis ændring i forhold til gennemsnitsudbyttet 1998-2002, s. 23

Figur 11: Forskellige aspekter af menneskets CO<sub>2</sub>-emissioner fordelt på land/region, der fremhæver problemet med beholdnings- og strømstørrelser, s. 24

Figur 12: Små solceller (gennemsnitssystem – 18 Watt), som de anvendes i Kenya, s. 24

Figur 13: Faldet i modulprisen på tyndfilms solceller (PV) i takt med de kumulative produktionsstigninger, s. 26

Figur 14: Modellerede emissioner fra skovrydning i syv REDD-designmuligheder, fordelt på regioner, s. 27

Figur 15: Konsekvenserne af forskellige begrænsninger på reduktionen af drivhusgas-forebyggelsespotentialet fra dets teoretiske biofysiske maksimum til det lavere opnåelige potentiale, s. 27

Figur 16: En visuel repræsentation af aktiv tilpasningsstyring, en iterativ metode baseret på eksplisit, forsøgsbaseret udvikling af plausible styringsmuligheder, s. 28

Figur 17: Typiske samspil i regeringssystemer med flere niveauer, s. 32

Figur 18: Grupper af fælles mentale modeller, s. 34

## Boksliste

Boks 1: Ændringer i den grønlandske indlandsis, s. 9

Boks 2: Den globale kulstofcyklus, s. 11

Boks 3: Klimaændringernes virkninger på menneskets sundhed og trivsel, s. 13

Boks 4: Vandressourcer og klimaændringer: Opbygning af fleksibilitet mod en bæredygtig fremtid, s. 13

Boks 5: Forsuring af planeten Jorden, s. 15

Boks 6: Biodiversitet og klimaændringer: Resultater af Millennium Ecosystem Assessment, s. 15

Boks 7: Sikkerhedsmæssige konsekvenser af klimaændringer, s. 17

Boks 8: Omkostningerne ved at vente med at handle, s. 19

Boks 9: Økonomiske værktøjer til imødegåelse af forebyggelsesudfordringen, s. 21

Boks 10: Finansiering af tilpasning, s. 23

Boks 11: Fordelene ved dekarbonisering af økonomien, s. 29

Boks 12: Klimaændringer og byområder, s. 30

Boks 13: Kulturer, værdier og verdensanskuelse som faktorer i reaktionerne på klimaændringerne, s. 33

Boks 14: Betydningen af adfædsændringer, s. 33

Boks 15: Mod en stor ændring i jordanvendelsen?, s. 35

## Litteraturhenvisninger

- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Rahmstorf, S., Cazenave, A., Church, J.A., Hansen, J.E., Keeling, R.F., Parker, D.E., and R.C.J. Somerville, 2007: Recent climate observations compared to projections. *Science* 316 (5825): 709-709.
- Domingues, C.M., Church, J.A., White, N.J., Gleckler, P.J., Wijffels, S.E., Barker, P.M. and J.R. Dunn, 2008: Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature* 453: 1090-1094.
- Church, J.A., Domingues, C., White, N., Barker, P. and P. Gleckler, 2009: Changes in global upper-ocean heat content over the last half century and comparison with climate models. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences* 6 (3): 032005, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/3>
- Steffen, K., and Huff, R., 2009: University of Colorado at Boulder, personal communication
- Mote, T.L., 2007: Greenland surface melt trends 1973 – 2007: Evidence of a large increase in 2007. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22507, doi: 10.1029/2007GL031976.
- Wouters, B., D. Chambers, and E. J. O. Schrama 2008: GRACE observes small-scale mass loss in Greenland. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L20501, doi:10.1029/2008GL034816
- Plattner, G.-K., 2009: Long-term commitment of CO<sub>2</sub> emissions on the global carbon cycle and climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences* 6: 042008, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/4>.
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R. and P. Friedlingstein, 2009: Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 1704-1709.

- Richter-Menge, J., Overland, M., Svoboda, J., Box, M.J.E., Loonen, A., Proshutinsky, V., Romanovsky, D., Russell, C.D., Sawatzky, M., Simpkins, R., Armstrong, I., Ashik, L.-S., Bai, D., Bromwich, J., Cappelen, E., Carmack, J., Comiso, B., Ebbinge, I., Frolov, J.C., Gascard, M., Itoh, G.J., Jia, R., Krishfield, F., McLaughlin, W., Meier, N., Mikkelsen, J., Morison, T., Mote, S., Nghiem, D., Perovich, I., Polyakov, J.D., Reist, B., Rudels, U., Schauer, A., Shiklomanov, K., Shimada, V., Sokolov, M., Steele, M.-L., Timmermans, J., Toole, B., Veenhuis, D., Walker, J., Walsh, M., Wang, A., Weidick, C. and Zöckler, 2008: Arctic Report Card 2008, Available online at: <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard>.
- Canadell, J.G., Le Quéré, C., Raupach, M.R., Field, C.R., Buitenhuis, E., Ciais, P., Conway, T.J., Gillett, N.P., Houghton, R.A. and G. Marland, 2007: Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 18866-18870.
- Tans, P. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide - Mauna Loa, NOAA/ESRL, Available online at: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- Hoffman, D.J. The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI) NOAA/ESRL. Available online at: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>
- Dlugokencky, E.J., R.C. Myers, P.M. Lang, K.A. Masarie, A.M. Crowell, K.W. Thoning, B.D. Hall, J.W. Elkins, and L.P. Steele, 2005: Conversion of NOAA atmospheric dry air CH<sub>4</sub> mole fractions to a gravimetrically-prepared standard scale. *J. Geophys. Res.*, 110, D18306, doi:10.1029/2005JD006035.
- IOP, 2009: Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions, Copenhagen 10.-12. March 2009. All sessions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences. Available online at: <http://www.iop.org/EJ/volume/1755-1315/6>
- Caldeira, K., 2009: Ocean acidification: Humanity and the environment in geologic time, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6 (3): 462004, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/46>
- Raupach, M.R., Marland, G., Ciais, P., Le Quere, C., Canadell, J.G., Klepper, G. and Field C.B., 2007. Global and regional drivers of accelerating CO<sub>2</sub> emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 10288-10293, doi:10.1073/pnas.0700609104. (<http://www.pnas.org/cgi/reprint/0700609104v1>)
- Haywood, A., Bonham, S., Hill, D., Lunt, D. and U. Salzmann, 2009: Lessons of the mid. Pliocene: Planet Earth's last interval of greater global warmth. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences* 6: 072003, Available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/7>
- Council of the European Union, 2005: Presidency Conclusions – Brussels, 22/23 March 2005, European Commission, Brussels.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and K.S. White (Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Meinshausen M., Meinshausen N., Hare W., Raper S.C.B., Frieler K., Knutti R., Frame D.J., Allen M.R., 2009 Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 degrees C. *Nature*, 458 (7242): 1158-1166
- Steffen, W., 2009: Climate Change 2009: Faster Change and More Serious Risks. Report to the Department of Climate Change, Australian Government, in press.
- Holland, G., 2009: Climate change and extreme weather. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences* 6: 092007, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/9>
- Turley, C., Blackford, J., Widdicombe, S., Lowe, D., Nightingale, P.D. and A.P. Rees, A.P., 2006: Reviewing the impact of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on oceanic pH and the marine ecosystem. In: Schellnhuber, H.J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T. and Yohe, G (Eds), *Avoiding Dangerous Climate Change*, Cambridge University Press, 8, 65-70.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Lenton, T. M., Held, H., Kriegler E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S. and Schellnhuber, H. J., 2008: Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (6): 1786-1793.
- Dahl-Jensen, D. (Lead), 2009: The Greenland Ice Sheet in a changing climate. Component 2 in SWIPA: An Arctic Council Project coordinated by AMAP – IASC – WCRP/CLIC – IPY.
- Hofmann, M. and H.J. Schellnhuber, 2009: Oceanic acidification affects marine carbon pump and triggers extended marine oxygen holes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 3017-3022
- Schellnhuber, H.-J. and H. Held, 2002: In: Briden J and T. Downing (eds), *Managing the Earth: The Eleventh Linacre Lectures*, Oxford University Press, Oxford, pp 5-34.
- Smith, J.B., Schneider, S.H., Oppenheimer, M., Yohe GW, Hare W, Mastrandrea, M.D., Patwardhan, A., Burton, I., Corfee-Morlot, J., Magadza, C.H.D., Fussler, H.-M., Pittcock, A.B., Rahman, A., Suarez, A. and J.-P. van Ypersele, 2009: Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi/10.1073/pnas.0812355106. In press.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- NOAA, 2009: Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, [online] available at: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends> [accessed 04/06/2009], Earth Systems Research Laboratory.
- European Environment Agency, 2009: CSI 013 – Atmospheric greenhouse gas concentrations – Assessment published Mar 2009. Available online at: [http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/Specs/Specification20041007131717/Assessment1234255180259/view\\_content\\_content<http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/Specs/Specification20041007131717/Assessment1234255180259/view\\_content\\_content>](http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/Specs/Specification20041007131717/Assessment1234255180259/view_content_content<http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/Specs/Specification20041007131717/Assessment1234255180259/view_content_content>)
- Hare, B., and Meinshausen, M., 2006: How Much Warming are We Committed to and How Much can be Avoided? *Climatic Change* 75, 1-2: 111-149.
- Meinshausen, M., Hare, B., Frieler, K., Nabel, J., Markmann, K., Schaeffer M. and J. Rogel, 2009: PRIMAP – Potsdam Real-Time Integrated Model for the probabilistic assessment of emission paths, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences* 6: 052008, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/5>
- Allen, M., Frame, D., Frieler, K., Hare, W., Huntingford, C., Jones, C., Knutti, R., Lowe, J., Meinshausen, M., Meinshausen, N. and S. Raper, 2009: The exit strategy. *Nature Reports Climate Change* 3: 56-58
- Nordhaus W.D.: 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations>
- Stern, L. N., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations>
- Spring, U.O, 2009: Social vulnerability and geopolitical conflicts due to socio-environmental migration in Mexico, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences* 6: 562005,





- available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>.
41. Warner, K., 2009: Migration: Climate adaptation or failure to adapt? Findings from a global comparative field study, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562006, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>.
  42. Gleditsch, N.P. and R Nordås, 2009: IPCC and the climate-conflict nexus, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562007, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>.
  43. Scheffran, J., 2009: Climate-induced instabilities and conflicts. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562010, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>.
  44. Brauch, H.G., 2009: Climate change impacts on migration: Conflict and cooperation in the Mediterranean, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562004, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>.
  45. Wright, S., 2009: Emerging military responses to climate change – the new technopolitics of exclusion, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562001, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>.
  46. Wright, S., 2009: Climate Change & The New Techno-Politics of Border Exclusion & Zone Denial, presentation at Climate/Security, conference organised by Centre for Advanced Security Theory, Copenhagen, on March 9, 2009; [http://cast.ku.dk/events/cast\\_conferences/climatesecurity/wrightcopenhagenpaper.doc/](http://cast.ku.dk/events/cast_conferences/climatesecurity/wrightcopenhagenpaper.doc/)
  47. Trombetta, J., 2009: The meaning and function of European discourses on climate security, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 562009, available online at <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/56>.
  48. IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
  49. Urge-Vorsatz, D., Koepfel, S. and S. Mirasgedis 2007: An appraisal of policy instruments for reducing buildings CO<sub>2</sub> emissions. Building Research and Information 35(4): 458 – 477.
  50. Expert Group on Energy Efficiency 2007. Jochem, E., Dadi, Z., Bashmakov, I., Chandler, W., Farinelli, U., Halpeth, M. K., Jollands, N., Kaiser, T., Laitner, J. S., Levine, M., Moisan, F., Moss, R., Park, H.-C., Platonova-Oquab, A., Schaeffer, R., Sathaye, J., Siegel, J., Urge-Vorsatz, D., Usher, E., Yanjia, W. and E. Worrell: Realizing the Potential of Energy Efficiency: Targets, Policies, and Measures for G8 Countries. United Nations Foundation Expert Report. Washington, DC., United Nations Foundation: 72 pp. Available at [http://www.unfoundation.org/files/pdf/2007/Realizing\\_the\\_Potential\\_Energy\\_Efficiency\\_full.pdf](http://www.unfoundation.org/files/pdf/2007/Realizing_the_Potential_Energy_Efficiency_full.pdf)
  51. Schaeffer, M., Kram, T., Meinshausen, M., van Vuuren, D.P., and W.L. Hare, 2008: Near-linear cost increase to reduce climate-change risk. Proceedings of the National Academy of Sciences 105: 20621-20626.
  52. Van Vuuren, D.P., de Vries, B., Beusen, A. and P.S.C. Heuberger, 2008. Conditional probabilistic estimates of 21st century greenhouse gas emissions based on the storylines of the IPCC-SRES scenarios. Global Environmental Change 18: 635-654.
  53. Biermann, F., 2009: Earth system governance. Outline of a research programme, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 482001, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/48>
  54. Matthews, H.D. and K. Caldeira, 2008: Stabilizing Climate requires near-zero emissions. Geophysical Research Letters 35 (4): L04705
  55. Nakicenovic, N., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>
  56. Knopf, B., Edenhofer, O., Barker, T., Baumstark, L., Kitous, L., Kypreos, S., Leimbach, M., Magne, B., Scricciu, S. and H. Turton, 2009: Low stabilization pathways: Economic and technical feasibility, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 272002, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/27>
  57. Kammen, D., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>
  58. Knopf, B., Edenhofer, O., Barker, T., Bauer, N., Baumstark, L., Chateau, B., Criqui, P., Held, A., Isaac, M., Jakob, M., Jochem, E., Kitous, A., Kypreos, S., Leimbach, M., Magne, B., Mima, S., Schade, W., Scricciu, S., Turton, H. and D. van Vuuren, 2009: The economics of low stabilisation: implications for technological change and policy. In M. Hulme and H. Neufeldt (Eds) Making climate change work for us - ADAM synthesis book, Cambridge University Press, in press.
  59. Meinshausen, M., 2006: What does a 2°C target mean for greenhouse gas concentrations? – A brief analysis based on multi-gas emission pathways and several climate sensitivity uncertainty estimates. In: Schellnhuber, J. S., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley T. M. L. and G. Yohe. Avoiding Dangerous Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press.
  60. Edenhofer, O., B. Knopf, M. Leimbach, N. Bauer (Eds), 2009: The Economics of Low Stabilization, The Energy Journal (Special Issue), forthcoming
  61. Keith, D., 2009: Climate engineering as risk management, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 452002, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/45>
  62. Liverman, D., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>
  63. Schellnhuber, J., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>
  64. Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. and R.L. Naylor, 2008: Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. Science 319 (5863): 607-610
  65. ESSP Global Environmental Change and Food Systems project, 2009: Global Environmental Change and Food Systems [online], available at [www.gecfs.org](http://www.gecfs.org) [access date 04/06/2009]
  66. UNDP, 2007: Human Development Report 2007/2008. Fighting Climate Change: Human solidarity in a divided world. United Nations, New York.
  67. Reid, V.V., Mooney, H.A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S.R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraipapp, A.K., Hassan, R., Kaspersen, R., Leemans, R., May, R.M., McMichael, A.J., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R.T., Zakri, A.H., Shidong, Z., Ash, N.J., Bennett, E., Kumar, P., Lee, M.J., Raudsepp-Hearne, C., Simons, H., Thonell, J. and M.B. Zurek, 2005: Millennium Ecosystem Assessment Synthesis report. Island Press, Washington DC.
  68. Munasinghe, M. 2009: Sustainable Development in Practice: Sustainomics Framework and Applications, Cambridge University Press, London, UK, Chap.5.
  69. Kammen, D., 2009: Figure from plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>. Figure based on Duke and Kammen 1999; Nemet and Kammen 2007; historical data from Navigant (2007).
  70. Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., and D.A. Wardle, 2001: Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. Science 294: 804-808
  71. Busch, J., Strassburg, B., Cattaneo, A., Lubowski, R., Boltz, F., Ashton, R., Bruner, A., Creed, A., Obersteiner, M. and R. Rice, 2009: Collaborative modelling initiative on REDD economics, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 252019, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/25>
  72. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H.H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, R.J., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U. and S. Towprayoon, 2007: Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment 118: 6-28
  73. Shapouri, H., Duffield, J.A., and M.S. Graboski, 1995: Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol. Agricultural Economic Report, United States Department of Agriculture, Lincoln NE
  74. Shapouri, H., Duffield, J.A., and M. Wang, 2002: The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. Agricultural Economic Report, United States Department of Agriculture, Lincoln NE
  75. Ulgiati, S., 2001: A comprehensive energy and economic assessment of biofuels: when "green" is not enough. Critical Reviews in Plant Sciences 20 (1): 71.
  76. McLaughlin, S.B., and M.E. Walsh, 1998: Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. Biomass and Bioenergy 14 (1): 317.
  77. Kim, S., Dale, B.E. 2005: Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: bioethanol and biodiesel. Biomass and Bioenergy 29 (6): 426.
  78. Venendaal, R., Jørgensen, U., and C.A. Foster, 1997: European Energy Crops: A synthesis. Biomass and Bioenergy 13 (3), 147.
  79. Armstrong, A.P., Baro, J., Dartoy, J., Groves, A.P., Nikkonen, J., and D.J. Rickead, 2002: Energy and greenhouse gas balance of biofuels for europe - an update. CONCAWE, Brussels.
  80. Björjesson, P. 2004: Energianalys av drivmedel från spannmål og vall. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
  81. Bernesson, S. 2004: Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – a comparison between large- and smallscale production. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
  82. Rosenberger, A., Kaul, H.P., Senn, T. and W. Aufhammer, 2001: Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals: the effect of crop production intensity. Applied Energy 68 (1): 51.
  83. Elsayed, M.A., Matthews, R., and N.D. Mortimer, 2003: Carbon and energy balances for a range of biofuels options, Hallam University, Sheffield.
  84. Bentsen, N.S., and C. Felby, 2009: Energy, feed and land use balance of converting winter wheat to ethanol. Biofuels, bioproducts and biorefining, in review.
  85. Olesen, J.E., 2009: Measures to promote both mitigation and adaptation to climate change in agriculture, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 242005, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/24>
  86. Smith, M.S., 2009: CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra, Australia (unpublished). Contact information: <http://www.csiro.au/people/Mark.Stafford-Smith.html>
  87. Steffen, W., Burbidge, A., Hughes, L., Kitching, R., Lindenmayer, D., Musgrave, W., Stafford Smith, M. and P. Werner, 2009: Australia's Biodiversity and Climate Change. CSIRO Publishing, in press.
  88. Ramankutty, N., Evan, A. T., Monfreda, C. and J. A. Foley, 2008: Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000, Global Biogeochem. Cycles, 22: GB1003
  89. Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzar, C., Gingrich, S., Lucht, W. and M. Fischer-Kowalski, 2007: Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. Proceedings of the National Academy of Sciences 104 (31): 12942-12947.
  90. Aquastat, 2009: Review of global agricultural water use per country, conclusions, [online] available at [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_use/index6.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index6.stm) [accessed on 04/06/2009]. Food and Agricultural Organisation of the United Nations
  91. Kammen, D. M., 2006: The Rise of Renewable Energy, Scientific American (September): 82-91.
  92. Fuller, M., Portis, S., and D.M. Kammen, 2009: Towards a low-carbon economy: municipal financing for energy efficiency and solar power, Environment, 51 (1): 22-32.
  93. Daniell, K.A., Mdnez Costa, M.A., Ferrand, N., Vassileva, M., Aix, F., Coad, P. and I. S. Ribarova, 2009: Aiding multi-level decision-making processes for climate change mitigation and adaptation, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 392006, available online at <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/39>
  94. Forstater, M., Oelschlaegel, J., Monaghan, P., Knight, A., Shah, M., Pedersen, B., Upchurch, L., and P. Bala-Miller, 2007: What assures Consumers on Climate Change?, Research report. Available online at: <http://www.accountability21.net/publications.aspx?id=1090>. Accountability, Beijing, Geneva, London, Sao Paolo and Washington DC
  95. Butler, C. and N. Pidgeon, 2009: Climate Risk Perceptions and local experiences at the 2007 summer flooding: Opportunities or obstacles to change?, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 262008, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/26>.
  96. Read P., 2006: Carbon Cycle Management with Biotic Fixation and Long-Term Sinks, In: Schellnhuber, H. J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T., and G. Yohe (Eds.). Avoiding Dangerous Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, p. 373-378
  97. WBGU, 2009: Politikberatung zum Globalen Wandel, [online] available at <http://www.wbgu.de/> [accessed on 04/06/2009]
  98. Müller, C., Bondeau, A., Lotze-Campen, H., Cramer, W., and W. Lucht, 2006: Comparative impact of climatic and nonclimatic factors on global terrestrial carbon and water cycles, Global Biogeochemical Cycles 20: GB4015, doi:10.1029/2006GB002742
  99. Banaszak, I., Matczak, P. and A. Chorynski, 2009: The role of shared mental models for adaptation policies to climate change, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6: 392001, available online at: <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/39>
  100. Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and J. Foley, 2009: Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. Nature, in press.
  101. Lynch, A., 2009: Plenary presentation at the International Scientific Congress on Climate Change 2009. Available online at: <http://climatecongress.ku.dk/presentations/congresspresentations/>

All hyperlinks are accessed June 2009



# VIDENSKABELIG STYRINGSGRUPPE

Professor Katherine Richardson (Chair),  
University of Copenhagen

Professor Ole Wæver,  
University of Copenhagen

Professor Inez Fung,  
University of California – Berkeley

Professor Daniel M. Kammen,  
University of California, Berkeley

Dr. F. Michael Saunders,  
National University of Singapore

Professor Akimasa Sumi,  
The University of Tokyo

Professor Kazuhiko Takeuchi,  
The University of Tokyo

Mr. Keisuke Hanaki,  
The University of Tokyo

Professor Will Steffen,  
Australian National University

Dr. Frank Jotzo,  
Australian National University

Professor Nina Buchmann,  
ETH Zürich

Professor Christoph Schär,  
ETH Zürich

Professor Daniel Esty,  
Yale University

Professor Diana Liverman,  
University of Oxford

Professor Lu,  
Peking University

Dr. Terry Barker,  
University of Cambridge

Professor Dr. Rik Leemans,  
Wageningen University (observer)

Professor Hans Joachim Schellnhuber,  
Director of the Potsdam Institute for Climate Impact Research and  
Visiting Professor at University of Oxford (observer)

## REVIEWERS

(i alfabetisk rækkefølge)

Professor Annela Anger,  
Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research (4CMR), University of  
Cambridge

Professor Rob Bailis,  
Yale School of Forestry & Environmental Studies, Yale University

Professor Dennis Baldocchi,  
Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California,  
Berkeley

Professor C.T. Arthur Chen,  
Institute of Marine Geology and Chemistry, National Sun Yat-sen University, Taiwan

Professor Lynn Dicks,  
Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research (4CMR), University of  
Cambridge

Professor John Harte,  
Department of Environmental Science, Policy & Management, University of California,  
Berkeley

Professor Kirsten Hastrup,  
Department of Anthropology, University of Copenhagen

Professor Andrew Hector,  
Institute of Environmental Sciences University of Zürich

Dr. Frank Jotzo,  
Climate Change Institute, Australian National University

Professor Eigil Kaas,  
Niels Bohr Institute, University of Copenhagen

Professor Anne Larigauderie,  
Executive Director of Diversitas

Professor Katherine Law,  
IPSL Service, Aéronomie Boite 102, Université Pierre et Marie Curie

Professor Harold A. Mooney,  
Department of Biological Sciences, Stanford University

Professor Karsten Neuhoﬀ,  
Faculty of Economics, University of Cambridge

Professor Anand Patwardhan,  
S J Mehta School of Management, Indian Institute of Technology, Powai, India

Professor Navin Ramankutty,  
Department of Geography & Earth System Science Program,  
McGill University

Professor Matthias Roth,  
Department of Geography, National University of Singapore

Professor Serban Scrieciu,  
Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research (4CMR), University of  
Cambridge

Executive Director Sybil Seitzinger,  
The International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) Secretariat

Professor Frank Sejersen,  
Department of Cross-Cultural and Regional Studies,  
University of Copenhagen

Dr. Mark Stafford Smith,  
CSIRO Sustainable Ecosystems & Desert Knowledge CRC, IHDP

Dr. Olga Solomina,  
Department of Glaciology, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences

Professor Liya Yu,  
Division of Environmental Science and Engineering,  
National University of Singapore

Professor Dr. Tong Zhu,  
College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University

Forfatterteamet vil gerne takke Klimasekretariatet på Københavns Universitet, dr. Dorte Hedensted Lund, dr. Katrine Hahn Kristensen og professor Ole John Nielsen, Københavns Universitet, og Veronika Huber, Potsdam Institute for Climate Impact Research, for deres hjælp med at udarbejde denne synteserapport.