

Geografisk Orientering

Tema: Klima



*Tidsskrift for Geografforbundet
Oktober 2009 · 39. årgang · Nr. 5*

Indhold

Leder	299
*Forventninger til COP 15	300
<i>Ida Auken</i>	
*Oversigt over tidligere klimakonferencer	302
<i>Henning Strand</i>	
*Klimaforandringer gennem Jordens historie – hvad siger fortiden om fremtidens klima?	304
<i>Marit-Solveig Seidenkrantz</i>	
*Påvirker Jordens magnetfelt klimaet?	312
<i>Mads Faurischou Knudsen og Peter Riisager</i>	
*Danmark i det globale drivhus	318
<i>Rolf Haugaard Nielsen</i>	
*Klima – den grønne tråd i geografiundervisningen	326
<i>Lisbeth Jakobsen</i>	
*Vejr / klimaartikler i tidligere numre af GO	330
<i>Henning Strand</i>	
Fra fagudvalget: Aktualisér din undervisning op til klimatopmødet	332
<i>Bjarke Lindemann Jepsen</i>	
Fra geografilærerforeningen	334
Anmeldelser	336

*Temaartikler er markeret med **

*Forside: Dawes Glacier kælver. Tongass National Forest, Alaska, USA.
Foto: iStock.*

*Bagside: Det åbne vand breder sig mellem Grønland og Canada.
Foto: Ivan Jacobsen.*

Medlemskontingent for 2008-2009:
Almindeligt medlemskab: 275 kr.
Familie (par): 350 kr.
Studerende 125 kr.
Institutioner, skoler: 450 kr.

Henvendelse om medlemskab/abonnement mv.:
Geografforlaget, Filsofngangen 24, 5000 Odense C
63 44 16 83, Fax 63 44 16 97
e-mail: go@geografforlaget.dk
Hjemmeside: www.geografforbundet.dk

Redaktion
Ansvarshavende redaktør og annoncetegnning:
Mette Starch Truelsen, 49 21 60 21
P.W. Tegners Vej 91, 3070 Snekkersten
e-mail: GO-redaktionen@geografforbundet.dk

Anmelderredaktør:
Maja Enghave Kristensen, 35 26 12 37
Gamlevældevej 42, 3760 Gudhjem

Søren Pilgaard Kristensen, 50 92 12 71
Henning Strand, 33 24 07 37
Leif Tang Lassen, 48 30 00 95
Anne Dorte Hjerno (gym.), 44 99 65 21
Helle Askgaard, 35 83 69 67

*Deadline er den 1. i utlige måneder.
GO udkommer midt i årets lige måneder.*

Formand for GLFG:
Birgit Sandermand Justesen,
Kollelevbakken 4, 2830 Virum, 86 65 90 36
e-mail: BirgitJustesen@gmail.com

Geografforbundets Styrelse
Formand: Bo Hildebrandt
Rønne Allé 4, 4300 Holbæk, 59 43 91 43
e-mail: bh@geografforbundet.dk

Næstformand: Erik Sjerslev Rasmussen, 86 84 50 58

Kasserer: Per Watt Boolsen,
Lindegårdsvej 13 C,
3520 Farum, 44 95 41 57
Giro (kontingent): 3178048

Kursusudvalg:
Formand: Frede Sørensen, 98 84 34 96
e-mail: fs@geografforbundet.dk
Lise Rosenberg, 43 64 13 19 / 22 39 77 77
Tom Lauridsen, 38 28 01 97
Peter Aaen, 98 34 14 34
Nikolaj Charless Bunniss, 53 53 93 35
Allan Andreasen Kortrum (gym.), 86 62 30 60
Hanne Docker (gym.), 47 31 23 31

Fagudvalg:
Formand: Henning Lehmann, 38 71 26 40
e-mail: hl@geografforbundet.dk
Ditte Pagaard, 24 62 90 99
Jeanne Christina Grage, 45 86 87 37
Trine Dalgaard Frølich, 97 71 17 73
Erik Sjerslev Rasmussen, 86 84 50 58
Dominique Otoul (gym.) 33 24 45 48
Anders Teglggaard Kjær (gym.) 97 52 35 99
Niels Bauer (gym.), 22 35 57 74

Forlagsbestyrelse:
Formand: Per Nordby Jensen, 64 78 19 98
e-mail: pnj@geografforbundet.dk
Bo Hildebrandt, 59 43 91 43
Annette Knudsen, 86 85 45 66
Pernille Jørgensen, 54 16 62 10
Dorte Nørregaard Madsen (gym.) 62 61 52 14
Jørn Asmussen, 64 84 24 08
Per Watt Boolsen, 44 95 41 57

Regional kontaktperson:
Lise Rosenberg, 43 64 13 19 / 22 39 77 77
e-mail: lr@geografforbundet.dk

© Geografisk Orientering (GO)
Ikke-kommerciel udnyttelse tilladt med kildeangivelse

Layout og omrydning: Ivan Jacobsen, 74 73 86 37
Tryk: BB Offset. Oplag: 4300
ISSN 0105-4848



Leder

Klima og klimaforandring er et af de hotteste emner i den aktuelle samfundsdebat og et vigtigt emne i geografifundervisningen. Men kan man ikke få forstoppelse af klima og klimadebat? Netop nu i perioden op til klimatopmødet i København bombarderes vi med undervisningsmaterialer, debatindlæg, dokumentarudsendelser m.m. om klima, og det kan være svært at vurdere validiteten.

Det er intentionen med dette nummer af GO at bringe nogle artikler, der giver en grundig og veldokumenteret og for mange en ny baggrund for at forstå kompleksiteten i klimasystemet og dermed i debatten om klimaforandringer.

Kan studier af fortidens klima give os svaret? Påvirker Jordens magnetfelt klimaet? Hvad sker der med klimaet i Danmark? Hvordan bruges klima i undervisningen? Og hvad er status i klimadebatten? Det er blot nogle af de spørgsmål, som dette nummer behandler.

Som en ekstra service er der side 330 bragt en oversigt over artikler om vejr og klima i tidligere numre af GO.

Det er vores håb artiklerne tilsammen vil give inspiration til undervisningen og til fortsat deltagelse i debatten.

Leif Tang Lassen, Henning Strand og Anne Dorte Hjernø



Foto: Ivan Jacobsen

Forventninger til COP 15

Af Ida Auken

Redaktionen har bedt Ida Auken om at give sit bud på forløbet frem mod klimatopmøde nr. 15.

Klimakonferencen i december i København er vor tids store chance for at sætte en ny vej for klodens udvikling. Verdens ledere har alle muligheder for at stå sammen om et fælles problem og finde nye fælles løsninger på den enorme udfordring, som klimaforandringerne stiller menneskeheden over for. Desværre er klimakonferencen også vor tids største chance for at fejle. Får vi ikke lavet en aftale, eller ender vi med at lave en aftale, der ligner uendeligt langt fra, hvad videnskaben kræver for at holde opvarmningen under 2 grader, vil det få uanede konsekvenser for vores planet og vores efterkommere.

Set i det perspektiv ligger klimaforhandlingerne i et uhyggeligt politisk dødvande i øjeblikket. Det kommer formentlig ikke til at ændre sig væsentligt de næste måneder. De fleste spillere holder øje med hinanden, og ingen vil forpligte sig til reduktionsmål på CO₂-udledninger eller smide penge på bordet, før de kan se, at andre også gør det. De tre mest afgørende spillere i forhold til forhandlingerne er EU, USA og Kina, og jeg vil her kort opridse situationen i disse områder.

EU

EU har med klima- og energipakken fra januar forpligtet sig på at reducere sine CO₂-udledninger med 20 % i 2020, men vil gå op til 30 % i 2020, hvis der kommer en international aftale. FN's klimapanel har sagt, at verden skal reducere med 25-40 % frem til 2020, hvis vi skal have en chance for at holde temperaturstigningen under to grader. Med sin målsætning sniger EU sig lige akkurat inden for den ramme, men som en af verdens største udledere med et historisk ansvar for problemerne, burde EU som minimum have lagt sig i den høje ende. Dertil kommer de mange huller i EU's kvotesystem, der muliggør, at man køber sig til reduktioner også i lande uden for EU. Den danske regering har som værtsnation valgt at påtage sig rollen som mægler og er derfor ikke for alvor med til at drive processen i EU og globalt. Man vil lytte og forsøge at få folk sammen, men ikke presse for hårdt på og stille de allersværeste spørgsmål. Sverige, der i øjeblikket har formandskabet for EU, har med statsminister Frederik Reinfeldts seneste udtalelser om, at man ikke skal regne med en aftale, der kan holde temperaturstigningerne under to grader, også fralagt sig rollen som drivende kraft frem mod en ambitiøs klimaaftale. Tysklands kansler An-

gela Merkel har travlt med valgkampen hjemme i Tyskland, og der er ikke meget hjælp at hente fra den side i øjeblikket. Det er derfor vanskeligt at se, hvem der skal skubbe på for at få EU til at påtage sig en ledende rolle i forhandlingerne.

USA

USA spiller en afgørende rolle i forhold til klimatopmødet i København i december i år. Hvis ikke USA kommer med i en aftale, er det utænkeligt, at lande som Kina, Brasilien og Rusland vil forpligte sig. Men for at USA kan skrive under, kræver det, at kongressen i USA vedtager en klimalov inden klimatopmødet i København. De amerikanske forhandlere er opmærksomme på ikke at gentage fejlen fra forhandlingerne i Kyoto, hvor USA forpligtede sig til en aftale, de senere måtte træde ud af, fordi det blev stemt ned i kongressen. Taler man med grønne NGO'er og lobbyister i USA, såsom National Resource Defence Council, Union of Concerned Scientists eller Environmental Defense Fund, sætter de deres håb til den klima- og energilovgivning, der i disse dage er på vej igennem kongressen. Waxman-Markey loven, opkaldt efter de demokrater der har fremsat den, har været igenem utallige offentlige høringer og timevis af udvalgsbehandlin-

ger. Den er nu igennem energiudvalget i repræsentanternes hus, og venter på at blive behandlet i Senatet. Prisen har imidlertid allerede været en række kompromisser, der har udvandet loven på flere områder, og man kan kun frygte, hvad der sker, når loven skal forhandles igennem et senat med en lang række senatorer, der er mere optaget af at beskytte deres stater end at være partiloyale.

Waxman-Markey loven har mindst tre alvorlige fejl: for det første er det loft, der er sat for USA's klimaudledninger frem til 2020, så løst, at USA kan ende med at udlede mere CO₂ i 2020 end i dag, hvis alle muligheder for kvotekøb bliver udnyttet. Forsvarerne for loven er godt klar over problemet, men mener samtidig, at det er utænkeligt, at der vil være så mange kvoter til salg, samt at det bedre skulle kunne betale sig at købe kvoter frem for selv at foretage sig noget.

For det andet viser en uafhængig videnskabelig analyse, at loven ikke vil føre til mere vedvarende energi i USA, medmindre der bliver sendt mange flere penge den vej. Der er endda risiko for, at loven kan føre til mindre vedvarende energi end i dag. For det tredje vil en meget stor del af CO₂-kvoterne blive foræret væk til de mest energitunge virksomheder, i stedet for – som Obama tidligere har talt for – at sælge kvoterne til disse virksomheder. Det er meningen, at virksomhederne på sigt skal købe flere og flere af deres kvoter, men som andre grønne lobbyister, jeg har talt med, påpeger, så er kvoterne penge værd og reelt at betragte som et tilskud til de aller mest energitunge industrier. Og ser man historisk på det, har det i USA's historie nærmest været umuligt at rulle subsidier tilbage, når man først har givet dem til virksomhederne. På grund af disse fejl kan man finde adskil-

lige grønne grupper i USA, der er imod klima- og energiloven og hellere ser, at man ikke vedtager noget.

Loven har stadig en svær vej gennem senatet foran sig. I lang tid var det vurderingen, at den slet ikke ville nå igennem inden topmødet i København, men der er forlydender om, at Obama og hans folk har sat tryk på for at få loven igennem. På vejen skal man bl.a. have overtalt "Gang of Ten", der er ti senatorer fra stater, som er særligt afhængige af fossile brændsler og tung industri. Mit bud er, at Obama kun kommer til København og deltager i klimatopmødet, hvis det lykkes at få loven igennem – og ikke mindst derfor er det meget nervepirrende, hvad der kommer til at ske i USA de næste par måneder.

Kina

Kina har overhalet USA som verdens største udleder af CO₂ samlet set, men udleder kun omkring 6 ton CO₂ pr. indbygger. Til sammenligning udleder USA omkring 23 ton pr. person. Kina vil derfor kunne spille det kort, at andre må gøre noget, før de skal gøre noget. Den gode nyhed er dog, at Kina og flere af de andre store udviklingslande tydeligt har forstået, hvilke udfordringer vi står over for i form af klimaforandringer, og meget tyder da også på, at Kina er klar til at binde sig i en aftale. Til gengæld for dette løfte forventer de et effektivt globalt teknologisamarbejde. Landet har allerede i dag ambitiøse nationale mål for udbygning af vedvarende energi og energieffektivitet, og mange grønne virksomheder er meget opmærksomme på det nye marked i Kina.

Andre lande

Indien har ligesom Kina lanceret ambitiøse nationale tiltag på Solenergi og energieffektivitet. Men da det stadig er over 80% af befolkningen i Indien, der lever for

under 2 dollars om dagen, kan man ikke forvente, at Indien binder sig til en aftale, der handler om, at de i fremtiden skal udlede mindre CO₂. Til gengæld vil Indien gerne gøre en indsats, for at deres CO₂-udledninger ikke skal vokse utæmmet, hvis Vesten bidrager finansielt og teknologisk. Indien og Kina er altså to forskellige problemstillinger og skal behandles meget forskelligt.

Brasilien er mest optaget af forhandlingerne på skovområdet. Landet har en målsætning om at stoppe afskovningen i Amazonas, der er en vigtig brik i at nedbringe de globale CO₂-udledninger, men heller ikke Brasilien er meget villig til at tale om at skulle forpligte sig internationalt.

Hvis man skal slutte af med en lille opmuntring, så må den komme fra Japan, hvor Japans Demokratiske Parti smed Det Liberaldemokratiske Parti på porten efter 54 år ved magten. Hvis det demokratiske parti lever op til sine valgløfter, går Japan fra at være en meget besværlig spiller blandt de udviklede lande til at indtage en førerrolle med løftet om at ville reducere sit udslip med 25 % i 2020.

Hvad kommer der så til at ske i København? Det er meget vanskeligt at spå om, først når forhandlingerne går ind i den afgørende fase, vil vi kunne se, om det kan lade sig gøre at lave en forpligtende aftale med bindende mål og ikke alt for mange smuthuller. Verden har ikke brug for store ord og fine hensigtserklæringer. Den har brug for en grøn omstilling, der gør os uafhængige af kul, olie og gas. Det skal ske ved hjælp af en stor indsats for energibesparelser og investeringer i vedvarende energi.

Ida Auken er MF og miljøordfører for SF.

Oversigt over tidligere klimakonferencer

Af Henning Strand

- liste over forkortelser/initialer bagest.

COP1 Berlin 1995

Den første Conference of the Parties (COP) var præget af usikkerhed om, hvilke midler de enkelte lande havde for at bekæmpe udledningerne af drivhusgasser. Dette resulterede i "Berlin Mandatet" (The Berlin Mandate), der fastsatte en to år lang analyse- og vurderingsfase, der skulle resultere i et katalog af virkemidler, som medlemslandene kunne vælge fra og dermed sammenligne en palet af indsatser, der passede til deres behov.

COP2 Genève 1996

Den anden konference mellem parterne godkendte resultaterne i IPCC's anden vurderingsrapport, der udkom i 1995. På denne konference blev det slået fast, at medlemslandene ikke vil stræbe efter ensartede løsninger. Hvert land skal have frihed til at finde de løsninger, der er mest relevante for dette lands situation. På Genève-konferencen fremsatte parterne desuden et ønske om, at der blev defineret bindende mål på mellemlang sigt.

COP3 Kyoto 1997

På denne konference blev Kyoto-protokollen vedtaget efter intense forhandlinger. Protokollen indførte for første gang bindende mål for reduktion i 37 industrialiserede landes udledning af drivhusgasser i årene 2008-12. Efterfølgende fulgte flere års usikkerhed om, hvorvidt et tilstrækkeligt antal lande ville ratificere traktaten, men 16. februar 2005 trådte den i kraft. Flere af med-

lemslandene i UNFCCC har ikke ratificeret Kyoto-protokollen og anerkender ikke dens krav om reduktioner.

COP4 Buenos Aires 1998

På denne konference viste det sig, at der var flere udestående spørgsmål omkring Kyoto-protokollen. Derfor fastsatte man en toårig periode til afklaring og udvikling af redskaber til at indføre Kyoto-protokollen.

COP5 Bonn 1999

De tekniske diskussioner om mekanismerne under Kyoto-protokollen dominerede denne konference.

COP6 Haag 2000

Denne konference blev hurtigt præget af voldsomme politiske diskussioner om et forslag fra USA om at lade landbrugs- og skovbrugsarealer indgå som "kulstof-dræn" (carbon sink). Var forslaget blevet vedtaget, ville det på én gang mere eller mindre opfylde USA's forpligtelse til at reducere udslippet af drivhusgasser. Samtidig viste der sig uenighed om, hvilke sanktionsmuligheder der skulle tages i brug over for de lande, der ikke levede op til deres forpligtelser om at reducere udledningerne. Mødet endte, da EU-landene afviste et kompromisforslag, og forhandlingerne i realiteten brød sammen. Det blev aftalt at genoptage dem på en ekstraordinær konference i juli 2001.

COP6 "bis" Bonn 2001

Da parterne mødtes igen omtrent et halvt år efter de sammenbrudte forhandlinger i Haag, var der ikke store forventninger til resultatet. USA havde i mel-

lemtiden – under den nye præsident Bush – forkastet Kyoto-protokollen endeligt og deltog derfor kun i forhandlingerne om denne som observatør. Trods de lave forventninger lykkedes det at komme til enighed om flere større spørgsmål, herunder om i hvilket omfang skove og andre kulstof-dræn kunne regnes med i landenes budgetter for udledning af drivhusgasser, principper for sanktioner over for lande, der ikke når deres mål, og de fleksible mekanismer, der gør det muligt på forskellig vis at flytte reduktionsforpligtelser mellem lande for økonomisk kompensation.

COP7 Marrakech 2001

Senere på året 2001 mødtes parterne igen til den regulære årlige konference. Her blev Kyoto-protokollen forhandlet (næsten) helt færdig. Resultaterne blev samlet i de dokumenter, der kaldes Marrakech Accords.

COP8 Delhi 2002

På denne konference prøvede EU-landene (under det danske formandskab) at få vedtaget en deklaration, der efterlyste yderligere handling fra parterne under UNFCCC, men uden held.

COP9 Milano 2003

Fokus på denne konference var at få afklaret nogle af de sidste tekniske detaljer om Kyoto-protokollen.

COP10 Buenos Aires 2004

På dette møde begyndte landene så småt at åbne diskussionen om, hvad der skal til, når Kyoto-protokollen udløber i 2012. De tekniske diskussioner fyldte fortsat en del.

COP11/CMP1 Montreal 2005

Denne konference var den første, efter Kyoto-protokollen var trådt i kraft. Derfor blev det årlige møde mellem parterne i UNFCCC (COP) suppleret med den årlige konference mellem parterne i Kyoto-protokollen (CMP eller COP/MOP). De lande, der har ratificeret UNFCCC, men ikke har accepteret Kyoto-protokollen, har observatørstatus til sidstnævnte konference. Fokus på begge konferencer var, hvad der skulle til efter Kyoto-protokollens udløb i 2012.

COP12/CMP2 Nairobi 2006

Her blev de allersidste tekniske spørgsmål vedrørende Kyoto-protokollen endelig hugget på plads. Arbejdet mod en ny aftale for tiden efter Kyoto fortsatte med fastsættelsen af en række milepæle i processen frem mod en ny aftale.

COP13/CMP3 Bali 2007

På dette møde tog arbejdet mod en ny aftale, der skal afløse Kyoto-protokollen, et afgørende skridt fremad. For det første ved anerkendelsen af den seneste rapport fra IPCC og dens konklusioner om, at den globale opvarmning er utvetydig, for det andet ved at få formuleret en fælles tekst, der efterlyser hurtigere handling, og endelig ved vedtagelsen af Bali Action Plan, der sætter scenen for forhandlingerne frem til COP15 i København, hvor en ny aftale forhåbentlig kan forhandles på plads.

COP14/CMP4 Poznan 2008

Denne konference fortsatte arbejdet frem mod en ny klimaaf-tale i København i 2009. Det kommende magtskifte i Washington satte sit præg på konferencen, som var præget af afventende stemning i forhold til den nye amerikanske regerings udmeldinger. Parterne blev imidlertid enige om et arbejdsprogram og mødeplan frem mod konferencen i København

Kyoto-protokollens tilblivelse og udformning

Den overordnede ramme for indsatsen mod klimaforandringer blev formuleret, da FN oprettede det internationale klimapanel (IPCC), der udgiver vurderings-rapporter om verdens klima. Den første rapport's prognoser om fremtidens klima resulterede i, at 154 lande inklusiv Danmark vedtog at etablere Klimakonventionen i 1992. Formålet med konventionen er at stabilisere atmosfærens indhold af drivhusgasser på et niveau, der forhindrer farlige menneskeskabte klimaforandringer. Med afsæt i Klimakonventionens formål har landene i 1997 vedtaget et tillæg til Klimakonventionen, nemlig Kyoto-protokollen, der indeholder forpligtende krav til landene samt deres industrier og de energiproducerende virksomheder om reduktion af de 6 drivhusgasser kuldioxid, metan, lattergas samt industrigasserne HFC'er, PFC'er og SF₆.

Målsætningen i Kyoto protokolten er, at drivhusgasemissioner samlet set skal reduceres med 5,2 % i forhold til emissionsniveauet i 1990 for de industrilande, der har ratificeret protokolten, i forpligtelsesperioden fra 2008 til 2012. For den samlede reduktionsforpligtelse er der indgået byrdefordelingsaftaler mellem de deltagende parter. EU har i denne sammenhæng accepteret at skulle bidrage til at nedbringe drivhusgasemissionerne med 8 %. Herefter har EU fordelt byrden af denne reduktion, og Danmark har bundet sig til en reduktion på 21 % i forhold til 1990 niveauet. Det betyder, at Danmark må udlede 55 millioner ton CO₂ årligt i perioden 2008 til 2012, hvor forskellen mellem Kyotoforpligtelsen og de forventede udledninger beregnes til at udgøre 13 millioner ton CO₂-ækvivalenter* om året.

Reduktionsforpligtelsen skal efterleves ved anvendelse af en række virkemidler, der kan opdeles i indenlandske tiltag og de fleksible mekanismer. De indenlandske tiltag gennemføres i Danmark og omfatter bl.a. udbygning af vedvarende energi, energibesparelser og omstilling fra kul til gas. De fleksible mekanismer dækker over muligheden for at finansiere en reduktion af drivhusgasser i et andet land og fratække reduktionen i hjemlandets reduktionsforpligtelse. Reduktionen i det andet land kan enten ske indirekte ved, at førstelandet køber en del af andetlandets CO₂-kvoter eller direkte ved, at førstelandet laver CO₂-reducerende projekter i det andet land, evt. med en carbon fond som mellemlid.

* CO₂-ækvivalenter er den mængde af CO₂, som andre drivhusgasser ækvivalerer med i forhold til deres opvarmningspotentiale

og den endelige operationalisering af tilpasningsfonden, som vil skulle støtte konkrete tilpasningsaktiviteter i udviklingslande.

COP Conference of the Parties (parts-konference/årlige møde mellem parterne i UNFCCC)

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change (øverste organ for FN klimakonventionen)

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (internationale klimapanel)

CMP eller **COP/MOP**: Årlige konference mellem parterne i Kyoto-protokollen

Henning Strand, redaktionen.

Kilde:

Klima- og Energiministeriet / Energistyrelsen.

Klimaforandringer gennem Jordens historie

– hvad siger fortiden om fremtidens klima?

Af Marit-Solveig Seidenkrantz

Jordens klimatiske udvikling har de senere år fået stor fokus i medierne og i vores bevidsthed. Dette gælder især spådomme om fremtidens klima. Hvem eller hvad er det, der drejer på Jordens store termostat, så klimaet skifter? Hvilken rolle spiller mennesket, havene, vinden og Solen? Og hvad betyder udledningen af drivhusgasser, hvis den betyder noget? Der er mange spørgsmål, og kun ved at se på de klimaændringer, som Jorden har gennemgået gennem sin lange (geologiske) historie, kan vi finde svar på, hvordan og hvorfor klimaet ændrer sig for derved også at kunne forudsige, hvordan klimaet vil opføre sig fremover. En bedre forståelse for de naturlige mekanismer, der påvirker vores klima, er også en nødvendighed for at kunne vurdere menneskets rolle i forbindelse med klimaforandringer.

Hvad er klima?

Mange forveksler klima med vejr, men det er ikke det samme. Vejret er noget, som vi til enhver tid kan gå ud og måle på, og som til en vis grad kan forudsiges. Vejret vender stort set tilbage til sig selv gennem årets cyklus – sommeren i år lignede den sidste år meget i forhold til vinteren, der ligger imellem. Hvordan kan det lade sig gøre? Det skyldes, at vejret har et sæt spilleregler, og disse regler er klimaet!

'Vejr' er de forhold, der karakteriserer forholdene på et givet sted og et givet tidspunkt, mens klimaet svarer til det gennemsnitlige vejr på dette sted. Klimaet beskrives således både ved det gennemsnitlige vejr (temperatur, nedbør, luftfugtighed, solskinstimer og vind mv.) og gennem de variationer, der forekommer i vejret. En ændring i klimaet betyder dermed en ændring i vejret, så klimaet er en af de vigtigste faktorer, der kontrollerer vores livsbetingelser – nu og i fremti-

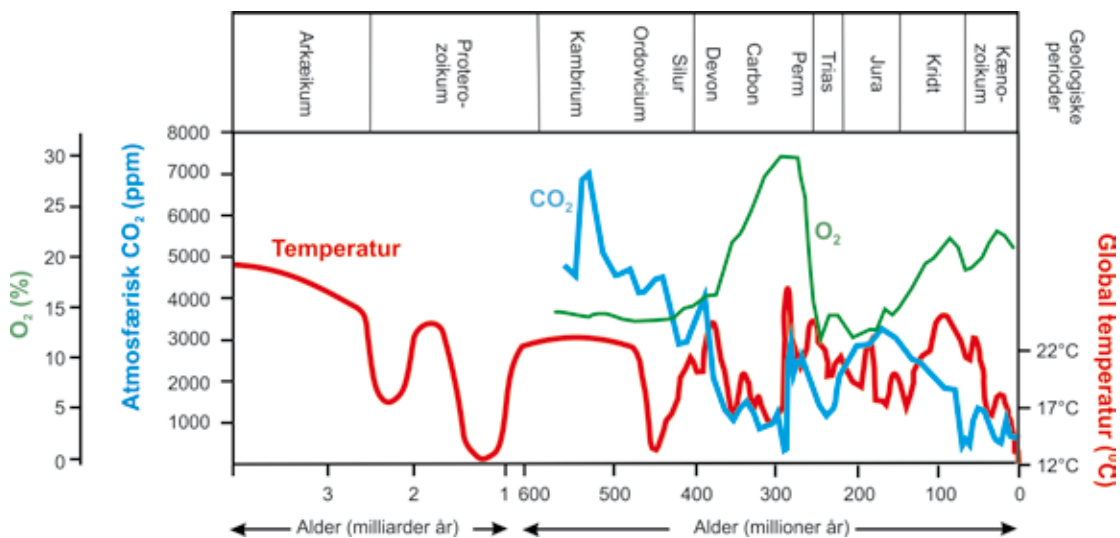
den. Derfor vil vi gerne kunne forudsige fremtidens klima, og den vigtigste metode til at forsøge dette, er ved at se på fortiden. Forstår vi fortidens klimasvingninger og mekanismerne bag dem godt nok, kan de bruges i de modeller, der anvendes til at forudsige klimaet i fremtiden.

Man bestemmer i dag klimaet ved at måle temperatur, vindhastighed m.m. Disse parametre er blevet målt siden midten af 1800-tallet; i ca. 150 år. Dengang var Jorden inde i en meget kold klimatisk periode, der kaldes "Den Lille Istid", og at temperaturen er steget siden dengang er helt som forventet. Men er stigningen alene forårsaget af naturlige processer? Hvordan var klimaet så tidligere? Er der overhovedet noget, som kan kaldes et 'normalt' klima? For at undersøge dette må geologiske metoder tages i brug for at finde frem til oplysninger om den fjernere fortids temperatur, nedbør osv.

Klimaet påvirkes af forskellige faktorer, hvis indflydelse er af forskellig målestok. Nogle mekanismer påvirker klimaet til gradvise ændringer over adskillige millioner år, mens andre mekanismer kan betyde hurtige klimaændringer, der foregår inden for få århundreder. Blandt de vigtigste mekanismer tæller: Pladetektonik (kontinenternes placering, vulkanisme m.m.), Solens indstråling, havstrømmenes forløb, vindsystemerne, drivhusgasser (CO₂, metan, m.m.), og vegetationen. Nogle af de vigtigste mekanismer vil blive gennemgået kort her.

Pladetektonikkens indflydelse

Klimaet har varieret meget gennem Jordens historie (Figur 1). Der har været perioder, hvor gletschere (iskapper) bredte sig over store dele af kontinenterne (istider), og andre perioder, som i Kridttiden, da Dinosauerne herskede, hvor der ingen is var på



Figur 1. Estimat over ændringer i den gennemsnitlige, globale temperatur (rød kurve), samt atmosfærens indhold af CO₂ (i ppm = milliontedele; blå kurve) og ilt (O₂, grøn kurve) i procent gennem de sidste 3,9 milliarder af Jordens historie. Data er behæftet med betydelig usikkerhed. Læg mærke til skift i tidsskala. Kilde: Forfatteren efter bl.a. Ekart et al. (1999), Berner & Kothavala (2001), Scotese (2004), Huey & Ward (2005), Veizer et al. (1999).

Jorden – end ikke på de højeste bjergtinder. Disse klimaændringer er af meget stor skala, men de er også foregået meget langsomt over millioner af år. Årsagen til disse storskala klimaændringer menes at skulle findes i pladetektonikken, dvs. ændringer i kontinenternes placering samt hastigheden af, hvor hurtigt pladerne har bevæget sig i forhold til hinanden.

For at der skal kunne dannes store iskapper, skal der have været placeret et kontinent på eller nær ved en af polerne, da opbygningen af en iskappe altid starter ved høje breddegrader, hvor det er koldest, og isopbygningen foregår på land eller på vanddybder mindre end ca. 50 m.

Pladetektonikken påvirker desuden atmosfærens indhold af drivhusgasser, da der ved stor tektonisk aktivitet vil være mange vulkanudbrud, hvorved der bl.a. frigøres CO₂ til atmosfæren. Et eksempel på dette er under Kridttiden, hvor Atlanterhavet blev dannet. På dette tidspunkt var vulkanismen så kraftig, at der blev udledt store mængder driv-

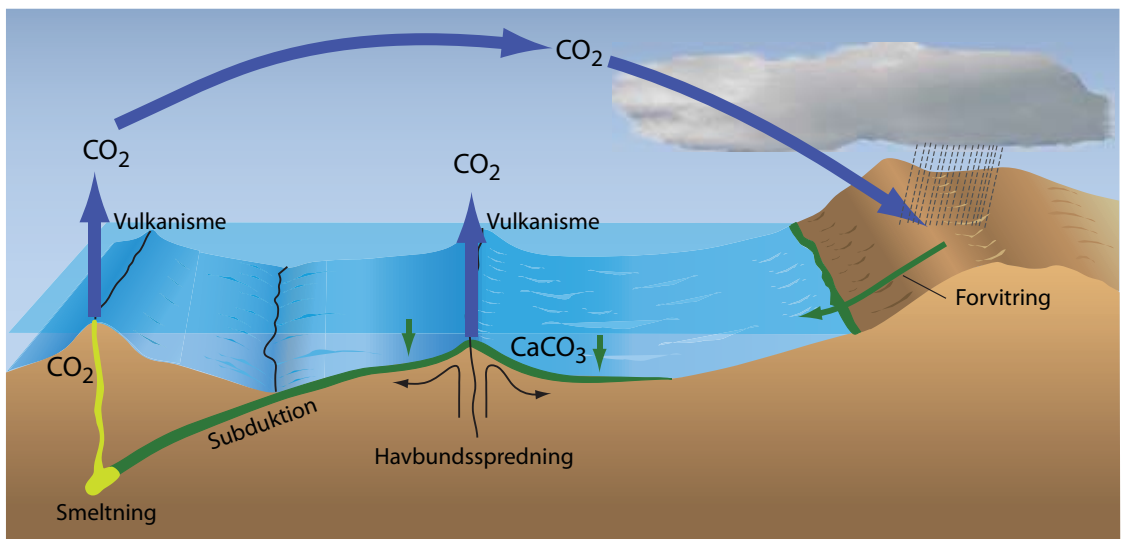
husgasser, og indholdet af CO₂ i atmosfæren var ca. 10 gange så højt som i dag (se Boks 1), hvilket var en vigtig årsag til, at den globale gennemsnitstemperatur menes at have været 10-15 grader varmere end i dag.

Når pladerne bevæger sig langsommere, vil der slippe mindre CO₂ ud til atmosfæren, og CO₂-indholdet vil derfor langsomt falde. Desuden vil indholdet af CO₂ i atmosfæren falde i perioder med betydelig kontinent-kontinent kollision, hvor der dannes bjergkæder. Eksistensen af bjergkæder betyder, at frisk materiale konstant er tilgængelig for kemisk forvitring, og under denne kemiske forvitring bruges den frie CO₂ fra atmosfæren i forbindelse med omdannelse af visse bjergarter til kalk (CaSiO₃ + CO₂ ⇌ CaCO₃ + SiO₂). Det er netop pga. dannelsen af Himalaya bjergene, Alperne m.m. (dannet og fortsat dannelse pga. hhv. Indiens kollision med Asien og Afrikas gradvise kollision med Europa) og et derfor ret lavt indhold af CO₂ i atmosfæren, at Jordens klima er koldere i dag, end det har væ-

ret gennemsnitligt over Jordens historie.

Selve placeringen af kontinenterne kan også påvirke klimaet, da deres placering har betydning for havstrømmenes og vindenes forløb. Et eksempel er at den globale nedkøling, der er sket de sidste ca. 35 millioner år, til dels kædes sammen med løsrivelsen af Antarktis fra Sydamerika og Australien. Det har betydet, at der kunne dannes en havstrøm, som flyder rundt om Antarktis og isolerer kontinentet, så de varme vandmasser fra Sydatlanten og Stillehavet ikke kan påvirke klimaet på Antarktis. Derfor er Antarktis gradvist blevet koldere, og der er dannet en tyk iskappe. Dette har påvirket hele Jordens klima, bl.a. pga. refleksion af Solens indstråling og ændringer i havstrømmenes forløb.

Også variationer i mængden af plantevækst samt dens indflydelse på den kemiske forvitring har haft betydning for atmosfærens CO₂-indhold. Et betydeligt fald i CO₂ i sen Silur og Carbon (se Figur 1) menes således i høj grad



Figur 2. Atmosfærens naturlige indhold af CO_2 bestemmes bl.a. af de pladetektoniske processer. Øget vulkanisme betyder større udledning af CO_2 , mens øget forvitring i forbindelse med bl.a. bjergkædedannelse vil fjerne CO_2 fra atmosfæren. Kilde: Tegnet af Grethe Storgaard efter Ruddiman & Kutzbach 1991 og Ruddiman 2008.

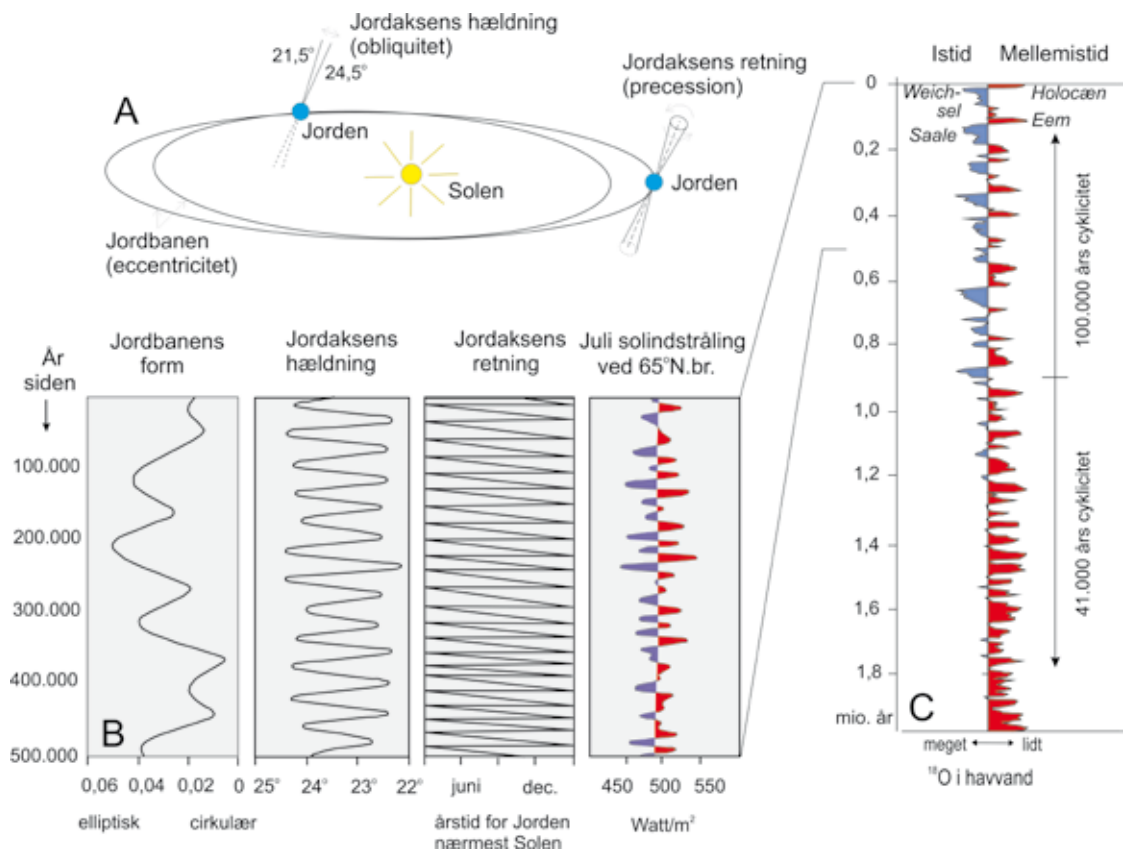
Boks 1: Bestemmelse af atmosfærens indhold af kuldioxid tilbage i tiden

Systematiske målinger af atmosfærens indhold af drivhusgasser er kun foregået siden 1958 (fra Mauna Loa, Hawaii). Heldigvis findes der andre måder til at vurdere atmosfærens CO_2 -indhold. For Jordens nyere historie – den sidste ca. 1 million år – er det muligt at måle CO_2 -indholdet i luftbobler i indlandsisen på Antarktis, hvor der er foretaget en række iskerne-boringer af bl.a. russiske, amerikanske, franske, japanske og danske forskere (på Grønland er det endnu ikke muligt pga. større mængder kalk (CaCO_3), der transporteres med vinden fra de mange kridtaflejringer på den nordlige halvkugle, og som forstyrrer måleresultaterne). Disse data fra iskerner fra Antarktis kan efterprøves gennem andre metoder, der er mindre nøjagtige, men som også kan anvendes længere tilbage i tid, fx stomata-målinger og målinger af kulstof- og borisotoper.

Stomata (dansk: læbeceller) er en speciel type celler, der findes på planter blade, og som planterne bruger til at 'ånde'. Mængden af disse celler afhænger af luftens indhold af kuldioxid, idet planterne har behov for færre læbeceller, hvis indholdet af CO_2 er højt. Så forholdet af læbeceller i forhold til andre celler anvendes til at vurdere CO_2 -trykket. Her er det naturligvis vigtigt, at forskellige arter af planter, har en forskellig mængde læbeceller, og man kan kun sammenligne data fra samme type plante.

Stabile kulstof-isotoper: Kulstof (C) forekommer som tre isotoper, ^{12}C , ^{13}C og ^{14}C , med henholdsvis 6, 7 og 8 neutroner i atomets kerne. ^{14}C (Kulstof-14) er ustabil og derfor radioaktivt. Det har vigtige funktioner inden for aldersbestemmelse og klimaforskning; men det er ^{12}C (Kulstof-12) og ^{13}C (Kulstof-13), der har betydning for vurdering af atmosfærens CO_2 -indhold. Dette skyldes, at planter gennem deres fotosyntese lettest optager ^{12}C , hvorved forholdet mellem $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ bl.a. kan anvendes til at vurdere, hvor meget CO_2 planterne optager. $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -forholdet påvirkes også af den kemiske forvitring, der har stor betydning for fjernelse af kuldioxid fra atmosfæren.

Bor (B) findes som to naturlige isotoper ^{10}B og ^{11}B . Forholdet mellem disse isotoper i marine aflejringer er afhængig af vandets pH, og da vandets pH er bestemt af atmosfærens CO_2 -indhold, kan målinger af $^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$ anvendes som indikator for atmosfærens CO_2 -indhold. $^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$ -forholdet i havvandet kan måles på skaller af planktoniske foraminiferer, der er en organismegruppe, der er beslægtet med amøber, men som opbygger en ydre skal af kalk.



Figur 3. Ændringer i Solens indstråling sammenlignet med klimakurve for de sidste 2 millioner år. A og B) Mekanismer. Periodiske ændringer i Jordens bane omkring Solen og jordaksens hældning påvirker hinanden, således at solindstrålingen følger forskellige cykliske variationer, der påvirker hinanden og danner et kompliceret mønster. Kurverne viser beregninger af jordbanens form (excentricitet), jordaksens hældning (obliquitet), jordaksens retning (precession) samt den deraf resulterende solindstråling ved 65°N.br. gennem de sidste 500.000 år. Excentriciteten er udtrykt ved sammenpresningen af den korte akse i forhold til den lange akse af den elliptiske jordbane. C) Kurven viser variationer i forholdet mellem de to iltisotoper 18O og 16O-forholdet i havvand gennem Kvartærtidens sidste 2 millioner år. 18O/16O-forholdet er især afhængig af mængden af indlandsis og er derved et udtryk for den globale temperatur (se Boks 2). Kuldeperioder, istider, er vist med blåt, mens varmeperioder, mellemistider, er vist med rødt. Fra for 1,8 millioner til for 900.000 år siden varierede klimaet med en periodicitet på 41.000 år, der hænger sammen med variationer i jordaksens hældning (obliquiteten). Gennem de sidste 900.000 år har klimaskiftene fulgt 100.000-års cykliciteten i jordbanens form (excentriciteten). Kurven bygger på data fra en boring (ODP Site 677) i det Caribiske område. Kilde: Efter Seidenkrantz (1998).

at være influeret af opståen af højere planter. Mange af verdens store kulforekomster stammer netop fra Carbon (Kultiden).

Selvom atmosfærens CO₂-indhold således har spillet en betydelig rolle for Jordens klima tilbage gennem tiden, er der ikke et simpelt lineært forhold mellem CO₂ og temperatur (Figur 2). Dette skyldes til dels forskellige feedbackmekanismer i klimasy-

stemet, samt at også andre forhold end CO₂ spiller en rolle.

Istider og Mellemistider

Som nævnt er klimaet de sidste 35 millioner år blevet gradvist koldere. For 2,6 millioner år siden skete der et betydeligt klimaskifte, idet klimaet blev pludseligt og klart koldere. Samtidig begyndtes der at dannes større iskapper på den nordlige halvkugle.

Klimaet har, gennem disse sidste 2,6 millioner år, varieret meget – mellem meget kolde perioder (se Figur 3C) med stor udbredelse af iskapper, de såkaldte "istider", og varmere perioder, hvor iskapperne begrænsede sig til fx Antarktis og Grønland ("mellemistider"). Undersøgelser viser, at der har været så mange som 40 istider og adskilt af lige så mange mellemistider gennem de sidste godt

2 millioner år. Under en del af istiderne, specielt under de seneste, mest ekstreme istider, har isen bredt sig ud over store dele af den nordlige halvkugle.

Solindstrålingen

Disse ændringer i klimaet fra istid til mellemistid tilskrives i høj grad ændringer i Solens indstråling. Ændringer i solindstrålingen er forårsaget af variationer i jordaksens hældning og retning samt Jordens bane omkring Solen (se Figur 3A og 3B). Dette kaldes Milankovitch-teorien efter den serbiske astronom Milutin Milankovitch. Da det er et astronomisk fænomen, betyder det, at Solens indstråling kan beregnes både for fortid og fremtid.

Jordaksens hældning - obliquiteten

Jordens omdrejningsakse står på skrå i forhold til Jordens bane. Det giver os årstidsvariationen på vore breddegrader. Men aksens hældning er ikke konstant, og den forandrer sig med en periode på 41.000 år. Vinklen varierer mellem 22,1° og 24,5° (se Figur 3A og 3B). I dag er den 23,5° og aftagende.

Det er Jordens hældning, som forårsager årstiderne. Hvis Jordens akse ikke hældede, var der næsten ingen variation mellem årstiderne. Hvis Jorden derimod hældte med 90°, ville der være evig nat om vinteren, og evig dag om sommeren på hver halvkugle. Større vinkel giver varmere somre og koldere vintre både på den nordlige og sydlige halvkugle og indstrålingen på høje breddegrader øges i forhold til indstrålingen på lave breddegrader.

Jordbanens form - excentriciteten

Jordens bane omkring Solen danner som bekendt en ellipse; men formen af denne ellipse varierer gennem tiden fra næsten cirkelformet til en noget fladere ellipse pga. påvirkninger (tyngdekraft) fra solsystemets andre planeter.

Jordbanens eliptisitet kaldes excentriciteten, og ellipsen varierer med cykliciteter på 100.000 og 400.000 år (se Figur 3A og 3B).

Idag er der 3% forskel i afstand fra Jorden til Solen mellem den tætteste og den fjerneste position. Jorden befinder sig tættest på Solen d. 3. januar, altså tæt på 21. december (vintersolhverv på den nordlige halvkugle). Dvs. at både vintrene på den nordlige halvkugle og somrene på den sydlige halvkugle er lidt varmere, end de ville have været, hvis Jordens bane havde beskrevet en perfekt cirkel. Da Jorden er længst væk fra Solen d. 4. juli, nær sommersolhverv (21. juni), er somrene på den nordlige halvkugle og vintrene på den sydlige halvkugle tilsvarende lidt koldere. Dette giver i dag lidt mindre sæsonforskel på den nordlige end den sydlige halvkugle, da den nordlige halvkugle rammes af mindre sollys om sommeren og mere om vinteren end de tilsvarende årstider på den sydlige halvkugle.

Effekten af Jordens elliptiske bane på årstiderne er dog ret lille, idet den kun forstærker eller formindsker solindstrålingen med få procent. Excentricitetens største betydning ligger i dens indvirken på precessionen, idet precessionen har større betydning når Jorden er mere elliptisk.

Jordaksens retning - precessionen

Jordaksens retning (aksens precession) samt den elliptiske jordbanes retning (ellipsens precession), hvor det er selve Jordens ellipse, der skifter retning, er af meget stor betydning for klimaet (Figur 3A og 3B). Precessionen har stor betydning for årstiderne, idet den kan få Jordens placering i forhold til Solen til de forskellige årstider til at flytte sig. Som nævnt ovenfor er Jorden nærmest Solen den 3. januar, hvilket giver mindre årstidsvariationer på den nordlige end den sydlige halvkugle. For 11.000 år siden, var dette dog modsat, idet Jorden

lå tættest på Solen i juni-juli og længst væk fra Solen i december-januar. Precessionen varierer med frekvenser på 23.000 og 19.000 år, gennemsnit 21.700 år. Den har størst direkte betydning på lave breddegrader og har størst betydning når jordbanen er mere elliptisk.

Disse mekanismer danner til sammen mønstret for solindstrålingen (Figur 3B). Solindstrålingen er således domineret af precessionen, specielt på lave og mellemste breddegrader, mens obliquiteten er vigtigere ved højere til mellemste breddegrader. Excentriciteten modificerer kun precessionens betydning.

Størrelsen af ændringer i Solens indstråling vil variere mellem breddegrader og over året. Generelt vil den mængde Solenergi, der rammer Jordens atmosfære, være næsten konstant over tid. Når mindre energi rammer den nordlige halvkugle, vil mere ramme den sydlige og omvendt. Og hvis den gennemsnitlige indstråling om sommeren falder på et givet sted, vil den stige om vinteren. Det kan derfor undre, hvorfor Solens indstråling er så vigtig for klimaet. Dette skyldes, at det er meget vigtigt, hvor og hvornår den maksimale solindstråling falder. Iskapper starter generelt med at bygges op omkring 65° N.br., da der her er koldt nok til at isen ikke smelter, men ikke så koldt at luften er for tør til, at der kan falde nedbør (sne). Samtidig er det sommertemperaturen, der bestemmer, om der kan dannes iskapper, da det er somrenes varme, der afgør, om vinterens sne vil smelte bort. Det har derfor vist sig, at det er den mængde sollys, der rammer Jorden på 65° N.br. om sommeren (juni-juli), der er afgørende for, om vi har istid eller mellemistid.

En istids-mellemistids cyklus har gennem de sidste ca. 700.000 år været ca. 100.000 år (Figur 3C). Den mekanisme, der umiddelbart

Boks 2: Ilt-isotoper til bestemmelse af Jordens klima

Alle atomer består af en kerne af positivt ladede protoner og uladede neutroner. Udenom svirrer negativt ladede elektroner. Ilt har normalt 8 elektroner og 8 protoner, men antallet af neutroner kan variere mellem 8, 9 eller 10. De forskellige typer ilt kaldes isotoper. De to ilt-isotoper, ^{16}O (med 8 neutroner) og ^{18}O (med 10 neutroner), bruges til bestemmelse af tidligere tiders klima.

Der er et konstant forhold mellem ^{16}O og ^{18}O i havvand som helhed på Jorden. Da ^{16}O atomer er lettere end ^{18}O atomer, fordamp vandmolekyler med ^{16}O -atomer lettere end vandmolekyler med ^{18}O -atomer. Det fordampede vand falder senere som nedbør, der gennem floder bringes tilbage i havet. Derved opretholdes der en ligevægt i systemet.

I kolde perioder som fx istider vil meget af det vand, der fordampes fra havene, falde som sne over iskapperne, hvor det forbliver. Da meget af ^{16}O således bliver bundet i is, vil havvandet efterhånden indeholde mere ^{18}O i forhold til ^{16}O end i de varmere mellemistider. Da foraminiferer bygger deres kalkskal i kemisk ligevægt med havvandet, kan man ved at måle $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -forholdet i skallerne se forskel på, om de har levet i kolde eller i varme perioder.

kunne synes at have størst betydning for dette, er således excentriciteten (jordbanens form). Dette er dog kun fordi excentriciteten forstærker precessionens cyklicitet, således at der for hvert 4-5 precessions-maxima vil være en ny mellemistid. Tidligere varede en cyklus kun ca. 41.000 år (Figur 3C). Dengang havde jordaksens hældning større betydning, idet skiftene mellem istid og mellemistid fulgte hældningens 41.000 års cyklus. I øjeblikket oplever vi en lav excentricitet (Jordens bane er tæt på cirkulær). Pga. effekten fra 400.000 års cykliciteten i excentriciteten kan man beregne, at næste istid vil starte om 20-50.000 år.

Havcirkulationen

Solindstrålingen er dog kun den udløsende faktor, som influerer andre faktorer. For at finde en mekanisme, der influerer klimaet mere direkte, skal man se på havstrømmene og vinden. Her vil vi dog kun se på havstrømmene.

I Norskehavet nord for Island sker der en stor fordampning. Da

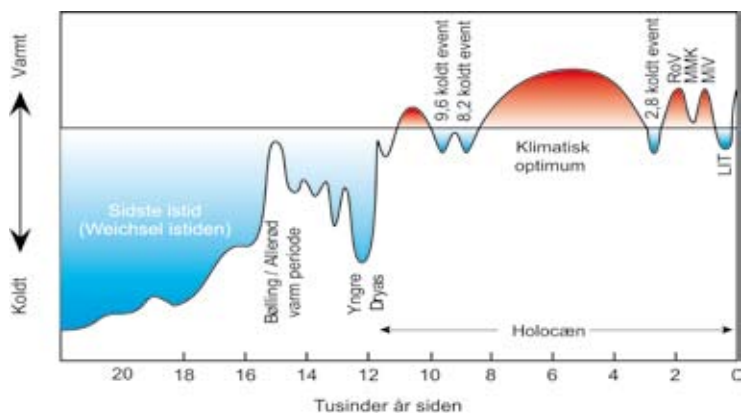
saltet naturligvis ikke fordampes, betyder det, at det resterende vand bliver mere salt. Desuden fryser overfladevandet til is – der dannes havis. Da ferskvand fryser lettere end saltvand – tænk blot på, at man strør salt ud på vejene om vinteren for at mindske risikoen for glatte veje – vil havisen ikke kunne indeholde så meget salt (kun op til 7 ‰; havvand har gennemsnitligt 35 ‰ salt), og det resterende vand bliver mere saltholdigt. Da vandet er tungere, jo mere salt det indeholder, vil dette vand blive tungere, og det vil derved synke til bunds. Herved dannes bundvand, som breder sig i de dybe oceaner.

Dette bundvand flyder gennem Atlanten, gennem det Indiske Ocean og ind i Stillehavet, hvor det langsomt opvarmes. Idet det bliver varmere og der samtidig sker vinddreven 'upwelling', vil det stige op til overfladen, og her danne et lag af overfladevand.

Da der jo forsvinder vand fra Atlanten, må dette jo kompenseres med vand fra andre egne. Det sker med en overfladestrøm

fra Stillehavet, der flyder gennem Caribien, hvor det opvarmes. Den slår først en stor sløjfe i den centrale Nordatlanten, en effekt der er drevet af vinden. Herefter drejer det over mod Europas kyst og søger nordover. Herved sker der en nettotransport af varmt vand mod nord. Denne varme, nordgående strøm kaldes også Golfstrømmen. Den bringer varme fra de subtropiske dele af Atlanten og er skyld i det varme klima i Nordvest-Europa. I den vestlige Nordatlanten mødes Golfstrømmen med den arktiske Østgrønlandske Strøm, og det er let at forestille sig, at små ændringer i styrkeforholdene mellem de to strømme kan have stor indflydelse på klimaet.

Under den koldeste del af sidste istid var denne globale cirkulation svagere, og der var en generelt mindre transport af varme rundt på Jorden. Dette skyldes, at et næsten permanent havisdække i den nordlige del af Nordatlanten mindskede muligheden for dannelse af ny havis. Derved blev også bundvandsdannelsen nord for Island nedsat og Golfstrømmen blev svagere. Da bundvandsdannelsen nord for Island blev nedsat gav det ekstra mulighed for koldere bundvand dannet ved Antarktis, som fyldte store dele af de dybe have. Dette bundvand fra Antarktis var meget koldere, og derfor kunne det optage meget mere CO_2 , så mængden af CO_2 i atmosfæren faldt. Dette er årsagen til, at CO_2 -indholdet i atmosfæren altid er lavere under istider (ca. 30 % mindre end under mellemistider; data fra iskerner fra Antarktis) og er et eksempel på, hvorfor CO_2 ikke altid er den drivende faktor, men kan være et resultat af klimaændringer, der er styret af andre mekanismer. Dog er det klart, at da CO_2 -indholdet i atmosfæren var lavere under istider end under mellemistider, har dette nok også nedsat temperaturen yderligere.



Figur 4. Klimaudviklingen over de sidste 22.000 år. RoV = Romers Varmtid, MMK = Mørke Middelalders Kuldeperiode, MiV = Middelalder Varmtid, LIT = Lille Istid. Kilde: Tegnet af Jesper Olsen efter Marshak.

Boks 3: Dannelse af kulstof-14 i atmosfæren – kerne-reaktionen

1) Dannelse af kulstof-14 i atmosfæren: $n + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + p$

2) Henfald af kulstof-14: ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$

n = Neutron (fra kosmisk indstråling)

N = Kvælstof (mest almindelige element i Jordens atmosfære)

C = Kulstof

e- = Elektron

p = Proton

ve = anti-neutrino

Det moderne klima

Normalt når der i dagspressen tales om moderne temperaturstigning, sammenligner man kun med de sidste ca. 100-150 år. Hvis man gør det er det også tydeligt, at temperaturen i den periode er steget betydeligt. Klimaet har dog generelt svinget meget i nyere tid, gennem de sidste knap 11.700 år – vores nuværende mellemistid (se Figur 4). Dog ikke så kraftigt som mellem istider og mellemistider.

Bortset fra den allerførste del, var klimaet i begyndelsen af vores nuværende varmtid (Holocæn) en del varmere end i dag (Figur 4). Dette skyldes, at sommer-solindstrålingen på den nordlige halvkugle var højere end i dag (pga. Mikankovitch-cykliciteten). Temperaturen er

således faldet gradvist i løbet af de sidste flere tusinde år, specielt de sidste 4-5000 år før nu, endnu stærkere de sidste 3000 år. Ud over denne generelle tendens har klimaet dog også svinget en del. Bl.a. var Vikingetiden en varm periode, hvilket gjorde det muligt for Nordboerne at befolke Grønland. Denne "Middelalder Varmtid" blev afløst af en meget kold periode i tidsrummet ca. 1350-1850 e.kr. (Den lille Istid – ikke at forveksle med en "rigtig" istid). Især under de koldeste perioder omkring 1650-1700 satte misvækst og hungersnød ind. Det er her interessant at bemærke, at netop 1850'erne, som var den sidste del af den koldeste periode gennem de sidste 8000 år, også er det tidspunkt, hvor de systematiske instrumentelle

(termometer) målinger af temperaturen startede.

Solens udstråling

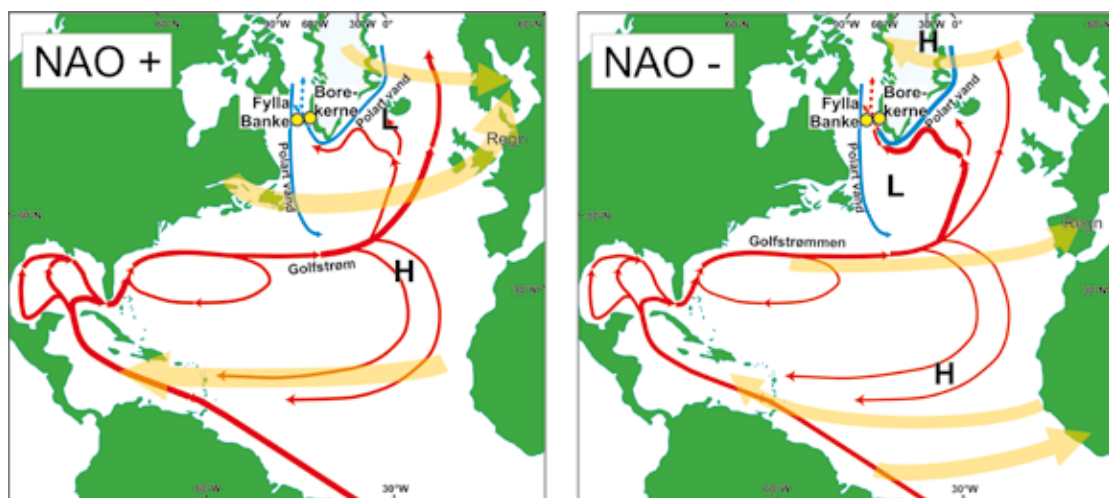
Man har foreslået, at disse klimasvingninger til dels skyldes ændringer i Solens energiudladning, således at Solen har udsendt mindre energi i kolde perioder end i de varme perioder. Det er blevet vist, at Solens udstråling var lav under de koldeste perioder under den Lille Istid, mens udstrålingen gennemsnitligt var forholdsvis høj under Middelalder Varmtid.

Dette kan måles gennem undersøgelser af de såkaldte 'kosmogene isotoper' (bl.a. ${}^{14}\text{C}$, ${}^{10}\text{Be}$). Det er ustabile (dvs. radioaktive) nucleider, som dannes i Jordens atmosfære, når atmosfæren bliver bombarderet af kosmisk stråling produceret i forbindelse med super nova eksplosioner (se Boks 3). Under perioder, hvor Solens energi-eksport er kraftig, vil Solens magnetfelt (~solvinden) delvist beskytte Jorden fra den indkomne stråling, og der vil dannes færre kosmogene isotoper. Hvis Solen er svagere, vil dens beskyttelse også aftage, og flere kosmogene isotoper dannes. Derved kan man ved at måle mængden af kosmogene isotoper i Jordens aflejringer bestemme, hvor kraftig Solens udstråling har været.

Selvom variationer i Solens energi antageligt spiller en rolle, er det dog også værd at bemærke, at tidsmæssigt falder variationerne i Solens styrke ikke altid sammen med klimaændringerne. Således skete der et betydeligt temperaturfald og en svækkelse af den nordgående transport af varmt vand (fra Golfstrømmen) i forbindelse med skiftet fra Middelalder Varmtid til Lille Istid omkring 100 år før faldet i Solens udstråling.

Den Nordatlantiske Oscillation

Der findes også mekanismer internt i klimasystemet (havstrømme, vindsystemet), som har stor



Figur 5. Vores klima er i høj grad påvirket af den Nordatlantiske Oscillation. Kortene viser overfladestrømme i Nordatlanten (røde pile = varmt vand; blå pile = koldt vand), placering af højtryk (H), lavtryk (L) og vindretninger (gule pile) i Nordatlanten under hhv. NAO+ (venstre) og NAO- (højre) situationer. Placeringen af den undersøgte borekerne nær Nuuk og den oceanografiske målestation ved Fylla Banke er vist som gule pletter. Kilde: Forfatteren efter diverse kilder.

betydning for klimaforandringer. Blandt de vigtigste tæller den såkaldte 'Nordatlantiske Oscillation' (NAO), El Niño og interne variationer i oceancirkulationen. Den mekanisme, der menes at have størst betydning for klimaet i Danmark og Nordatlanten er NAO (Figur 5). På den Nordlige Halvkugle, vil vindene omkring et lavtryk dreje mod uret og omkring et højtryk bevæge sig med uret. Der befinder sig i dag et semi-permanent lavtryk over Island og et højtryk over Azorerne. Dette system betyder en kraftig vestenvind, der bringer varme og fugtighed til nordvest Europa. Den vestenvind er også med til at blæse det varme vand fra Golfstrøms-systemet tættere på Europas kyst og give ekstra varme forhold her (dette kaldes en NAO+ situation pga. stor trykforskel). Men under nogle perioder vil lavtrykket over Island blive svagere og bevæge sig lidt længere mod syd, mens højtrykket over Azorerne også bliver svagere (kaldes en NAO- situation pga. lille trykforskel). Det betyder, at vestenvinden bliver svagere og desuden rykker sydover. Samtidigt vil den svagere vind

ikke skubbe så kraftigt til vandet fra Golfstrømmen, og mere af det varme vand vil i stedet flyde tilbage mod vest, hvor det vil flyde op langs kysten af Vestgrønland. Under disse perioder vil det således blive koldere og tørrere i Danmark (specielt om vinteren); men det kan også betyde, at klimaet er varmere i Vestgrønland. Dette system varierer fra år til år, men der er længere sammenhængende perioder, hvor klimaet i Nordatlanten overvejende er præget af enten en NAO+ eller en NAO- situation. Den nyeste forskning tyder på, at under den Lille Istid herskede overvejende en NAO- situation, mens Middelalder Varmtid (og den Moderne opvarmning) var præget af NAO+. Hvordan (og hvorvidt) sammenhængen mellem disse interne ændringer i klimasystemet hænger sammen med ændringer i Solens indstråling er endnu usikkert.

Afsluttende bemærkninger

Klimaet er således under konstant forandring, og det har ændret sig meget gennem Jordens historie. Der er derfor ikke noget, der kan

kaldes et 'normalt' klima. Der har været perioder, hvor klimaet har været betydeligt varmere end i dag, og andre perioder, hvor det har været koldere, selvom vi i dag lever i en relativt kold periode, hvis vi sammenligner med hele Jordens historie. Der er mange mekanismer, der influerer på klimaet, og her har der kun været berørt nogle af de vigtigste processer. Dog skal det bemærkes, at den temperaturstigning, der er set gennem de sidste årtier (siden omkring 1980'erne), ikke synes at kunne forklares gennem de kendte naturlige mekanismer. Det ser derfor ud til, at den store menneskeskabte udledning af drivhusgasser (specielt stor siden 1950'erne), måske for første gang igennem de sidste flere millioner år, er begyndt at blive en styrende faktor for Jordens klima.

Marit-Solveig Seidenkrantz er lektor ved Geologisk Institut, Aarhus Universitet, hvor hun er leder af Centre for Past Climate Studies.

Figur 1: Kunstnerisk fremstilling af Sol-Jord systemet. Jordens magnetfelt blokerer solvindens strøm af elektrisk ladede partikler og beskytter dermed atmosfæren (Illustration: NASA). På samme måde modulerer Solens og Jordens magnetfeltstrømmen af kosmiske partikler fra rummet, der – hvis de trænger ind i atmosfæren – kan påvirke Jordens klimasystem.

Påvirker Jordens magnetfelt klimaet?

Af Mads Faurschou Knudsen og Peter Riisager

Klimaets udvikling styres og påvirkes af flere konkurrerende mekanismer. Selvom der næppe kan være tvivl om, at antropogene drivhusgasser er hovedårsagen til de igangværende klimaændringer, er det særdeles vigtigt, at vi forsøger at afdække klimaets naturlige variationer og drivmekanismer.

De globale klimaændringer

Jordens middeltemperatur er steget med ca. 0,8 grader siden slutningen af det forrige århundrede. De fleste klimaeksperter er enige om, at denne temperaturstigning hovedsageligt skyldes øgede mængder af drivhusgasser i atmosfæren, forårsaget af afbrændingen af fossile brændstoffer. For at forstå omfanget af den menneskelige påvirkning af Jordens klima gennem udledning af drivhusgasser og aerosoler er det nødvendigt at forstå klimaets naturlige variationer. Desværre er Jordens klima et ekstremt kompliceret system, der

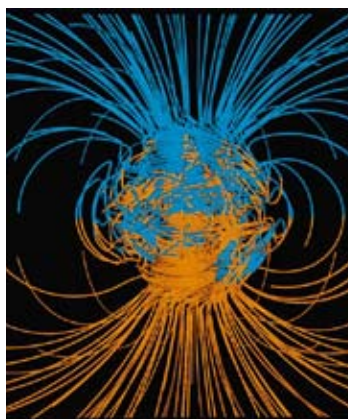
påvirkes og styres af mange forskellige processer, hvoraf nogle er internt forbundet via komplekse feedback-mekanismer. Derfor er det ofte vanskeligt, at isolere enkelte faktors påvirkning af klimasystemet, idet de forskellige faktorer næsten altid vil være forbundet med andre mekanismer, der også påvirker klimaet. Solens aktivitet repræsenterer en af de "naturlige" parametre der påvirker Jordens klima og flere studier har påvist en meget god sammenhæng mellem ændringer i Solens aktivitet og Jordens middeltemperatur frem til ca. 1980. Sådanne observationer har fået flere forskere til at foreslå, at de

omdiskuterede klimaændringer observeret over de sidste ca. 130 år har været tæt forbundne med ændringer i Solens aktivitet og at effekten af den øgede mængde af drivhusgasser i atmosfæren først for alvor er slået igennem efter 1980.

Forbindelsen mellem Solen og klimaet

Netop Solen er en af de største jokers i klimadebatten, fordi vores basale viden om Solens påvirkning af klimaet er utilstrækkelig. Solen påvirker først og fremmest klimaet gennem den direkte soludstråling, dvs. den mængde strålingsenergi som Jorden mod-

tager fra Solen. Ændringerne i Solens udstråling gennem de sidste ~130 år, og dermed den energi som Jordens klimasystem har absorberet, har imidlertid været alt for små til at have kunnet afstedkomme de temperatursvingninger, der er observeret i denne periode. Ændringer i Solen kan dog påvirke Jordens klima indirekte gennem såkaldte "sekundære" mekanismer og ifølge nogle forskere er det netop sådan en sekundær mekanisme, der er skyld i, at selv små ændringer i solaktiviteten kan influere på Jordens klimasystem. Denne indirekte mekanisme, som først blev studeret af Edward P. Ney i 1959 (Ney, 1959), bygger på en postuleret forbindelse mellem kosmisk stråling og klimaet. De første spekulationer er imidlertid blevet erstattet af en regulær klimateori, som hovedsageligt er udarbejdet af danskerne Henrik Svensmark og Eigil Friis-Christensen (se fx Svensmark & Friis-Christensen, 1997). Denne kontroversielle teori forbinder ændringer i Solens magnetfelt med den mængde af elektrisk ladede partikler fra rummet (hovedsageligt protoner og He-kerner) der trænger i Jordens atmosfære. Solens magnetfelt, som er tæt forbundet med sol-udstrålingen, afskærmer vores planetsystem mod de kosmiske partikler, således at når Solens magnetfelt er stærkt, så er der færre kosmiske partikler, der har tilstrækkelig energi til at trænge helt ind til Jordens atmosfære. Omvendt, hvis Solens magnetfelt er svagt, så vil flere kosmiske partikler trænge ind i atmosfæren. De partikler der trænger ind til Jorden vil ionisere atmosfæren, mens de gradvist "mister" deres energi. Kosmiske partikler menes således at være en af de vigtigste årsager til den ionisering, der finder sted i troposfæren, dvs. de nederste ca. 10 km af atmosfæren. Den kontroversielle teori går på, at ioniseringen af troposfæren er vigtig for dannelsen af stabile



Figur 2: Computer-simulering af Jordens magnetfelt (fra Gary Glatzmaier, University of California, Santa Cruz). Magnetfeltet beskytter Jorden mod kosmisk stråling fra rummet og hvis magnetfeltet forsvandt ville det have katastrofale følger for dyr og planters levevilkår på Jordens overflade.

sky-kondensations-kerner, som i sig selv er helt essentielle for dannelsen af egentlige skydråber – og i sidste ende skyer. Mængden af lave skyer i troposfæren er meget vigtig for Jordens strålingsbalance og da de lave skyer samlet set har en afkølede effekt, vil en øget global mængde af lave skyer medføre en afkøling af Jorden. De mikrofysiske processer, der er involveret i denne proces, er ikke forstået til bunds og det er derfor meget vanskeligt, at kvantificere i hvor høj grad denne effekt påvirker klimasystemet. Følgelig er denne indirekte effekt ikke inkluderet i de ellers meget avancerede klima-modeller og derfor repræsenterer denne kosmiske forbindelse mellem Solen og klimaet en af de store ubekendte i forståelsen af Jordens klimasystem. Størrelsen af netop denne indirekte "sol-klima effekt" har udviklet sig til et af de væsentligste stridspunkter blandt klimaforskerne.

Jordens magnetfelt

Det er imidlertid ikke kun Solens magnetfelt der afskærmer Jorden fra bombardementet af kosmiske partikler fra rummet. Jordens eget magnetfelt, som dannes i den flydende ydre kerne, beskytter også vores planet mod de kosmiske partikler fra rummet samt elektrisk ladede partikler fra Solen (figur 1). Hvis de kosmiske partikler, der trænger ind i Jordens atmosfære påvirker skydannelsen og derigennem Jordens klima, så er det nærliggende at tro, at Jordens eget magnetfelt også kan påvirke klimaet. Dette var tanken bag vores studium af den mulige forbindelse mellem Jordens magnetfelt og klimaet (Knudsen & Riisager, 2009), der tog sit udgangspunkt i en ny model af Jordens magnetiske dipolmoment gennem den Holocæne periode (dvs. de sidste ~11.700 år). Jordens magnetfelt kan tilnærmelsesvist beskrives som feltet fra en dipol-magnet placeret i Jordens centrum parallelt med omdrejningsaksen (figur 2). Dipolmomentet er et udtryk for styrken af magnetfeltet der stammer fra denne dipol. Størrelsen af dipolmomentet gennem Jordens geologiske historie kan rekonstrueres ud fra det magnetfelt der blev fastfrosset i forskellige bjergarter ved deres dannelsesstidspunkt samt i afbrændte arkæologiske objekter (såsom ovne, mursten osv.). Hvis man kombinerer magnetfeltstyrken bestemt ud fra bjergarter og arkæologiske objekter fra forskellige geografiske områder, og samtidig kender deres alder, er det muligt at beregne Jordens dipolmoment gennem tiden. I 2007 blev der oprettet en database (GEOMAGIA50) over alle magnetfeltstyrker bestemt ud fra bjergarter og arkæologiske objekter, der er yngre end 50.000 år. Vi brugte denne database til at lave en ny rekonstruktion af Jordens dipolmoment over de sidste 50 tusinde år (Knudsen et al., 2008).

I denne rekonstruktion gruppe-rede vi alle data i tidsvinduer på 500 år og 1000 år for at minimere effekten fra dateringsfejl, som kan være signifikante, samt højere-ordens komponenter af Jordens magnetfelt, der ikke kan beskrives med et dipolfelt. Disse højere-ordens komponenter består hovedsageligt af bidraget fra quadrupol- og octupol-feltet der beskriver mere regionale variationer i magnetfeltet, som, betragtet over nogle århundreder, udlignes eller minimeres kraftigt.

Udvælgelse af relevante klimadata

Hvis der er en sammenhæng mellem Jordens magnetfelt og klimaet vil man ikke nødvendigvis kunne forvente at finde sporene af denne forbindelse alle steder på planeten. Da Jordens egen afskærmning mod kosmiske partikler finder sted langt fra Jorden, er den effektive afskærmning fra Jordens magnetfelt udelukkende et resultat af dipolfeltet. På grund af dipolfeltets geometri vil afskærmning være stærkt afhængig af breddegraden, således at afskærmningen er maksimal ved ækvator mens den er forsvindende lille ved de geografiske poler. I vores bestræbelser på at undersøge sammenhængen mellem magnetfeltet og klimaet opstillede vi derfor en række kriterier for at afgøre, hvor der var størst sandsynlighed for at finde spor af denne forbindelse. Det første kriterium for udvælgelse af relevante klimadata var netop, at de skulle stamme fra områder tæt ved ækvator p.g.a. magnetfeltets geometri. Et andet kriterium var, at de skulle stamme fra områder med stort potentiale for skydannelse og områder, hvor satellit-observationer har demonstreret en god korrelation mellem mængden af lave skyer og kosmiske partikler over de sidste årtier. Tropiske egne beliggende tæt ved havet er de områder, der bedst opfylder dette kriterium. Et



Figur 3: Stalagmit fra en drypstenshule i Kina før "fældning" (højre billede). Stalagmitten saves igennem på langs og det er herefter muligt, at udtage mikroskopiske prøver fra stalagmittens længdeakse. Prøven analyseres efterfølgende i et massespektrometer for at bestemme forholdet mellem de lette og tunge iltisotoper ($\delta^{18}\text{O}$). Stalagmitten og de enkelte prøvers alder bestemmes ved hjælp af den meget præcise Uran-Thorium-metode. Kilde: Hu et al., 2008.

tredje kriterium var, at de udvalgte klimadata skulle afspejle processer i atmosfæren, fx nedbørsrelaterede processer, fordi det er her den direkte påvirkning fra de kosmiske partikler finder sted. For at kunne lave en meningsfuld sammenligning er det sidst, men ikke mindst, nødvendigt at udvælge klimadata, der er understøttet af en pålidelig aldersmodel og som er karakteriseret ved høj opløselighed gennem et længere tidsinterval i Holocæn.

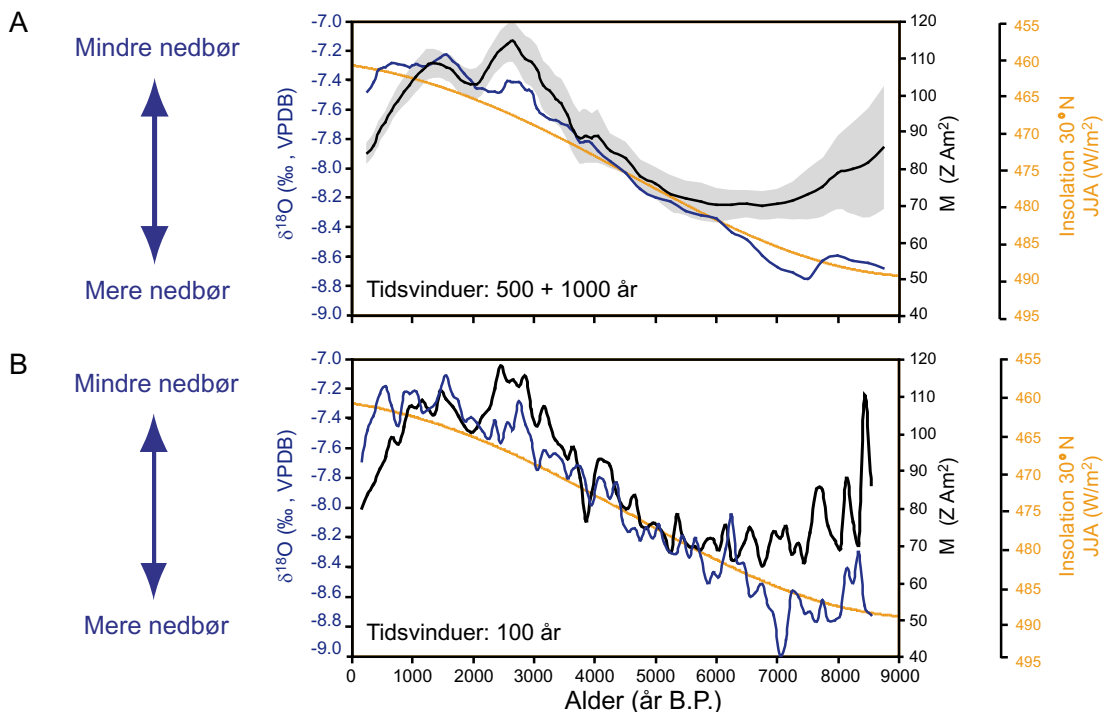
Tropiske stalagmitter

De klimadata der bedst opfylder ovennævnte kriterier stammer fra stalagmitter i tropiske egne. Stalagmitter er sekundære kalkaflejringer, der kan vokse over tusinder af år i drypstenshuler (figur 3). Ved at indsamle mikroskopiske prøver fra et tværsnit af en stalagmit kan man være

heldig at få en kontinuerlig tidsserie af klimadata. Specielt interessant er forholdet mellem de lette og tunge iltisotoper ($\delta^{18}\text{O}$) i stalagmitterne, der hovedsageligt afspejler tidligere tiders nedbørsmængder. Dette skyldes den såkaldte "amount effect", der beskriver hvorledes $\delta^{18}\text{O}$ -signalet bliver mere negativt jo mere det har regnet, fordi den tunge ^{18}O -isotop "regner ud" før den lettere ^{16}O -isotop. Undersøgelser af stalagmitter fra drypstenshuler har over de senere år frembragt en række nye klimadatasæt af meget høj opløselighed og ud fra disse data er det således muligt at rekonstruere monsun-nedbøren gennem tusinder af år i visse områder. Desværre er det kun få stalagmitter, der har "optaget" nedbørsmængden over længere perioder, og der findes således kun meget få kontinuerlige datasæt, der dækker hele den mellemistid, vi nu befinder os i. To af de mest velegnede stalagmitter stammer fra Dongge Cave i det sydlige Kina (Wang et al., 2005) samt Qunf Cave i Oman (Fleitmann et al., 2003), og de muliggør en rekonstruktion af nedbørsmængderne gennem de sidste ca. 10 tusinde år i disse områder. De to spektakulære $\delta^{18}\text{O}$ -datasæt fra Kina og Oman er meget veldaterede, og kan sammenlignes med data fra grønlandske iskerner hvad angår opløselighed i tid.

Sammenligning mellem Jordens dipolmoment og $\delta^{18}\text{O}$ i stalagmitter

En sammenligning mellem rekonstruktionen af Jordens dipolmoment og to $\delta^{18}\text{O}$ -datasæt fra hhv. Dongge Cave i Kina og Qunf Cave i Oman kan give et fingerpeg om Jordens magnetfelt faktisk har påvirket klimaet gennem Holocæn. For at sammenligne æbler med æbler og pærer med pærer grupperede vi de to $\delta^{18}\text{O}$ -datasæt i tidsvinduer svarende til dem brugt til at bestemme Jordens dipolmoment. Denne første



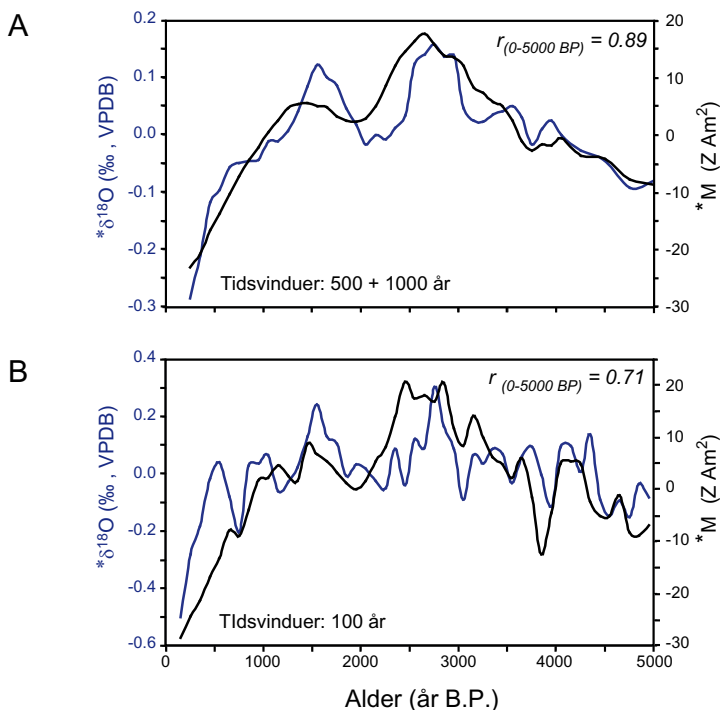
Figur 4: Jordens dipolmoment (sort kurve) med tilhørende usikkerhedsestimater (grå zone) samt $\delta^{18}\text{O}$ -data fra Dongge Cave i Kina (blå kurve). De pågældende $\delta^{18}\text{O}$ -data afspejler ændringer i mængden af nedbør i området. Jordens dipolmoment (M) og ændringer i nedbøren ($\delta^{18}\text{O}$) er bestemt ved A) at gruppere data i tidsintervaller på 500 år i perioden 0-4000 BP og i intervaller på 1000 år i den forudgående periode og B) i tidsintervaller på 100 år gennem hele perioden. Den orange kurve beskriver ændringer i solindstrålingen (insolation) gennem Holocænen som funktion af ændringer i Jordens baneparameter. Den gode korrelation over de sidste ca. fem tusinde år kan bedst forklares ved, at Jordens magnetfelt har påvirket klimaet i området. Ex viser nye beregninger, at ændringer i Jordens dipolmoment har kontrolleret ioniseringen i troposfæren i visse ækvatoriale områder gennem den Holocæne periode (Usoskin et al., 2008). Studiet af sammenhængen mellem dipolmomentet og monsun-nedbøren i Kina leverer derfor den første empiriske observation der direkte kan kædes sammen med disse model-beregninger. Kilde: Knudsen & Risager (2009).

sammenligning viser, at der er en meget god korrelation mellem dipolmomentet og mængden af nedbør rekonstrueret fra Dongge Cave over de sidste ~6000 år (figur 4A). For at få et mere detaljeret indblik i sammenhængen mellem dipolmomentet og nedbørmængderne gennemførte vi samme simple sammenligning, men nu baseret på en gruppering af magnetiske og $\delta^{18}\text{O}$ -data i 100-års vinduer. Denne sammenligning viser en utrolig god korrelation mellem de relativt kortvarige svingninger over ca. 100 år i dipolmomentet og ned-

børmængderne rekonstrueret fra Dongge Cave (figur 4b).

Det er almindeligt accepteret, at ændringer i Jordens baneparameter (orientering og hældning af Jordens rotationsakse samt formen af Jordens bane omkring Solen) har styret de lang-bølgede ændringer i monsun-nedbøren i de tropiske egne (se fx Wang et al., 2008). Dette skyldes hovedsageligt, at Jordens aksehældning påvirker positionen af den intertropiske konvergenszone (ITCZ), som er udslagsgivende for fordelingen af nedbør i tropiske egne. Som det fremgår af figur 4 er der

en meget god korrelation mellem ændringer i solindstrålingen forårsaget af ændringer i Jordens baneparameter og monsun-nedbøren i Kina og Oman. Da det også er blevet foreslået, at ændringer i Jordens baneparameter påvirker dannelsen af magnetfeltet i den flydende ydre kerne, er det naturligt at korrigere både Jordens dipolmoment og nedbørmængderne for denne effekt. Efter at have korrigeret for de lang-bølgede effekter af Jordens baneparameter observerer vi stadig en meget god korrelation mellem ændringer i Jordens dipolmoment og $\delta^{18}\text{O}$ -data fra Dongge



Figur 5: Jordens dipolmoment (sort) og $\delta^{18}\text{O}$ -data (blå) fra drypstenshulen Dongge Cave i det sydlige Kina. I denne figur er ændringer i Jordens dipolmoment samt de pågældende $\delta^{18}\text{O}$ -data blevet korrejeret for ændringer i Jordens baneparameter (orange kurve i figur 4). Figuren viser en rekonstruktion af Jordens dipolmoment og nedbørsmængder i det sydlige Kina baseret på en gruppering af data i tidsintervaller med forskellig længde: (A) en kombination af 500- og 1000-års vinduer og (B) 100-års vinduer. Kilde: Knudsen & Risager (2009).

Cave – både for sammenligningen baseret på en kombination af 500- og 1000-års tidsvinduer (figur 5A) og den baseret på 100-års vinduer (figur 5B). Korrelationen mellem dipolmomentet og $\delta^{18}\text{O}$ -data fra Qunf Cave i Oman er rigtig god i visse perioder over de sidste 6000 år (ikke vist), men generelt er den ikke så åbenlys som i tilfældet med Dongge Cave. Begge rekonstruktioner, fra hhv. Kina og Oman, viser, at mængden af nedbør steg betragteligt over de sidste ~1500 år, hvilket korrelerer næsten perfekt med et fald i dipolmomentet i denne periode.

Jordens magnetfelt og tropisk nedbør

Sammenligningerne viser altså, at der er en meget god korrelation mellem Jordens dipolmoment og de rekonstruerede nedbørsmængder i det sydlige Kina, hvilket netop er et af de steder, hvor man ville forvente at finde sporene af en sådan forbindelse ud fra betragtninger om bl.a. magnetfeltets geometri. Da de palæomagnetiske data, som rekonstruktionen af Jordens dipolmoment hviler på, ikke påvirkes af ændringer i klimaet, betyder dette resultat, at Jordens magnetfelt sandsynligvis har influeret mængden af nedbør i visse områder tæt ved ækvator. Det er

umuligt ud fra dette studium, at kvantificere eller vurdere den geografiske udstrækning af denne effekt. Det er således sandsynligt, at Jordens magnetfelt har påvirket nedbørsmængderne i det sydlige Kina i højere grad end i Oman, og at nedbørsmængderne i områder fjernt fra den geomagnetiske ækvator ikke har været påvirket af Jordens dipolmoment i nævneværdig grad. Dette stemmer fint overens med et teoretisk studium fra 2008, der viste, at ioniseringen i atmosfæren forårsaget af ændringer i Jordens magnetfelt kan variere betragteligt over relativt korte afstande (Usoskin et al., 2008).

Konklusionen på dette studium er derfor, at flere faktorer har påvirket mængden af nedbør i tropiske egne gennem den Holocæne periode. De lang-bølgede ændringer i nedbøren har hovedsageligt været styret af ændringer i Jordens baneparameter, mens de kort-bølgede ændringer har været styret af fluktuationer i Jordens dipolmoment, ændringer i Solens aktivitet, samt ændringer i atmosfæriske cirkulationsmønstre. Det er dog værd at bemærke, at stigningen i nedbørsmængder over de sidste ~1500 år, der er observeret i både Kina og Oman, bedst kan forklares med en samtidig ændring i Jordens dipolmoment.

Det er værd at reflektere en smule over den mekanisme, der kan forbinde ændringer i Jordens dipolmoment med nedbørsmængden i troperne. Det mest sandsynlige er, at Jordens magnetfelt har moduleret den mængde af kosmiske partikler, der er trængt ind i atmosfæren og derved skyernes mikrofysiske processer. Vores studium viser, at et fald i dipolmomentet har været forbundet med en stigning i nedbørsmængden, hvilket faktisk er det modsatte af, hvad man skulle forvente. Hvis dipolmomentet falder, og flere

kosmiske partikler kan trænge ind i atmosfæren og derved danne flere lave skyer, så vil der være mindre energi tilgængelig til fordamning, og man ville derfor forvente et fald i nedbøren. Koncentrationen af aerosoler i atmosfæren påvirker imidlertid skyernes mikrofysik og "tilbøjelighed" til at regne og flere studier har vist, at en stigning i koncentrationen af aerosoler kan føre til, at skyerne har en tendens til at holde på vandet. Dette kan medføre, at vandmængden i skyerne stiger og at nedbøren på denne måde bliver forøget, når vandet regner ud på et senere tidspunkt i skyens livscyklus. En sådan proces kunne potentielt forklare den sammenhæng, vi har observeret mellem ændringer i dipolmomentet og nedbøren i tropiske områder. Faktum er dog, at vi på nuværende tidspunkt ikke ved nok om forbindelsen mellem ioner i atmosfæren, aerosoler, skydannelse og nedbør til at forstå den mekanisme, der kan forbinde Jordens magnetfelt med ændringer i nedbøren.

Klimaet og Jordens magnetfelt – hvorfor er det vigtigt?

Gennem årene er det fra tid til anden blevet foreslået, at Jordens magnetfelt påvirker klimaet, dog uden at nogen har været i stand til at påvise denne sammenhæng på en overbevisende måde. Så langt er vi måske heller ikke nået endnu, men dette studium leverer de hidtil stærkeste indikationer for, at Jordens magnetfelt har påvirket klimaet. Dette betyder på ingen måde, at Jordens magnetfelt har spillet en væsentlig rolle for udviklingen af Jordens klima som helhed, men det er med til at nuancere vores forståelse af kompleksiteten af Jordens klimasystem.

Når dette studium har fået så megen opmærksomhed i medierne hænger det sammen med, at vi

bedst kan forklare sammenhængen mellem Jordens magnetfelt og klimaet via den kosmiske forbindelse, som netop spiller en væsentlig rolle i den igangværende klimadebat. Det er denne mekanisme, som ifølge nogle forskere har forstærket effekten af ændringer i Solens aktivitet, og som derfor kan have spillet en vigtig rolle for klimaændringerne gennem det sidste århundrede. Vi vil gerne pointere, at vores studium af klimaet og Jordens magnetfelt ikke i sig selv har nogen forbindelse til diskussionen om den globale opvarmning, men vores studium leverer en vis støtte til teorien om, at kosmiske partikler fra rummet påvirker klimaet, når de trænger ind i atmosfæren. Vores analyser understreger det faktum, at klimaets udvikling styres og påvirkes af flere konkurrerende mekanismer. Selvom der næppe kan være tvivl om, at antropogene drivhusgasser er hovedårsagen til de igangværende klimaændringer, er det særdeles vigtigt, at vi fortsat forsøger at afdække klimaets naturlige variationer og drivmekanismer. Kun ved at øge vores forståelse af klimaets naturlige variationer og dynamik kan vi forstå, hvordan vi mennesker har påvirket klimasystemets naturlige balance.

Mads Faurschou Knudsen, Geologisk Institut, Århus Universitet.

Peter Riisager, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland.

Litteratur:

D. Fleitmann et al. (2003). Holocene forcing of the Indian Monsoon recorded in a stalagmite from Southern Oman. *Science* 300, 1737-1739.

C. Hu, G.M. Henderson, J. Huang, S. Xie, Y. Sun, and K.R. Johnson (2008). Quantification of Asian Holocene monsoon rainfall from spatially separated cave records. *Earth and*

Planetary Science Letters 226, 221-232.

M. F. Knudsen & P. Riisager (2009). Is there a link between Earth's magnetic field and low-latitude precipitation? *Geology* 37, 71-74.

M.F. Knudsen, P. Riisager, F. Donadini, I. Snowball, R. Muscheler, K. Korhonen, L.J. Pesonen (2008). Variations in the geomagnetic dipole moment during the Holocene and the past 50 kyr. *Earth and Planetary Science Letters* 272, 319-329.

E.P. Ney (1959). Cosmic radiation and the weather. *Nature* 183, 451-452.

H. Svensmark & E. Friis-Christensen (1997). Variation in cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 59, 1225-1232.

I.G. Usoskin, M. Korte, and G.A. Kovaltsov (2008). Role of centennial geomagnetic changes in local atmospheric ionization. *Geophysical Research Letters* 35, L05811, doi:10.1029/2007GL033040.

Y. Wang et al. (2008). Millennial- and orbital- scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years. *Nature* 451, 1090-1093.

Y. Wang et al. (2005). The Holocene Asian Monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science* 308, 854-857.

Danmark i det globale drivhus

Af Rolf Haugaard Nielsen



Figur 1: På sporet af varmen. I april var temperaturen højere end nogensinde, siden de systematiske temperaturmålinger blev indledt i 1873. Foto: Hans Chr. Katberg Olrik Thoft.

De seneste tre år er de varmeste, som er registreret i Danmark. Klimamodellerne viser, at temperaturen fortsætter med at stige frem mod år 2100, og der vil komme mere ekstremt vejr i form af hedeølger, regnskyl, storme og stormfloder.

Man kan sammenfatte de senere års klimatiske udvikling i Danmark med fire små ord: Mere af det hele. Temperaturen er steget, nedbøren er øget, og vi har fået flere solskinstimer. Frem imod år 2100 ventes opvarmningen at fortsætte herhjemme, og temperaturen vil sandsynligvis stige mest om vinteren. Nedbøren vil blive mindre i landene syd for os og kraftigere længere mod nord, mens Danmark ligger i et grænseområde, hvor udviklingen er svær at forudsige. Derimod peger de regionale klimamodeller på, at den globale opvarmning vil føre til et mere ekstremt dansk vejr.

Der vil komme flere hedeølger, voldsomme regnskyl og stormfloder samt øgede vindstyrker i de stærkeste storme.

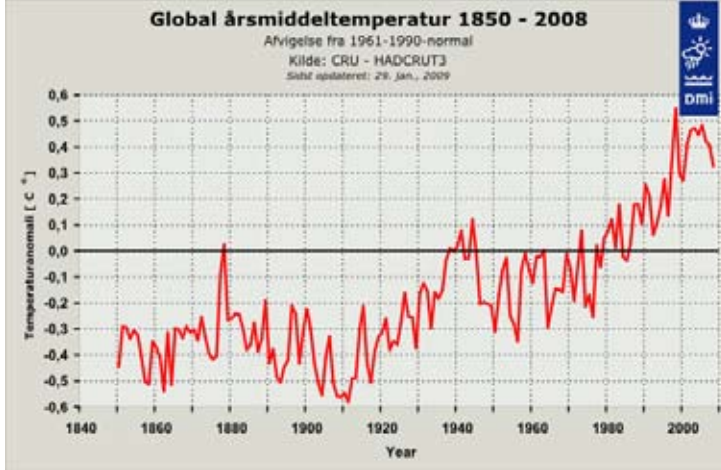
På globalt plan er temperaturen blevet målt siden 1850, og de 12 varmeste år ligger alle inden for de seneste 13 år. I løbet af det sidste århundrede er den globale middeltemperatur steget med 0,74 grader, og den største opvarmning er indtruffet siden 1975. Det hidtil varmeste år var 1998. Her lå temperaturen 0,55 grader over gennemsnittet for perioden 1961-1990, som World Meteorological Organization (WMO) anvender som referen-

ceramme til at vurdere nutidens klimaændringer. De næstvarmeste år var 2005 og 2003.

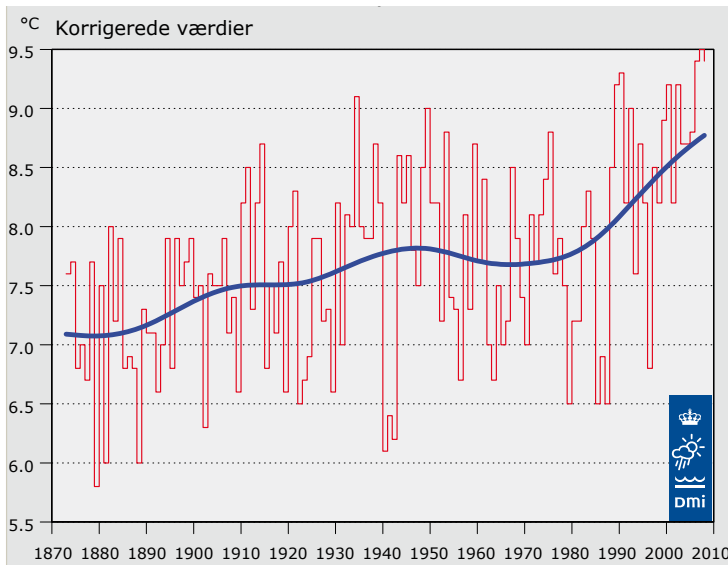
I 2007 konkluderede FN's klimapanel IPCC, at det meste af opvarmningen siden 1950 efter al sandsynlighed skyldes de menneskeskabte udslip af drivhusgasser, som er vokset dramatisk i de senere årtier, og som for tiden stiger med 3 procent om året på verdensplan.

Tre år med rekordvarme

Opvarmningen er slået igennem i Danmark i løbet af de sidste 15 år, hvor temperaturen på årsplan har ligget mere end en grad over



Figur 2: *Udviklingen i den globale årsmiddeltemperatur 1850-2008. (Kilde CRU-HADCRUT).*



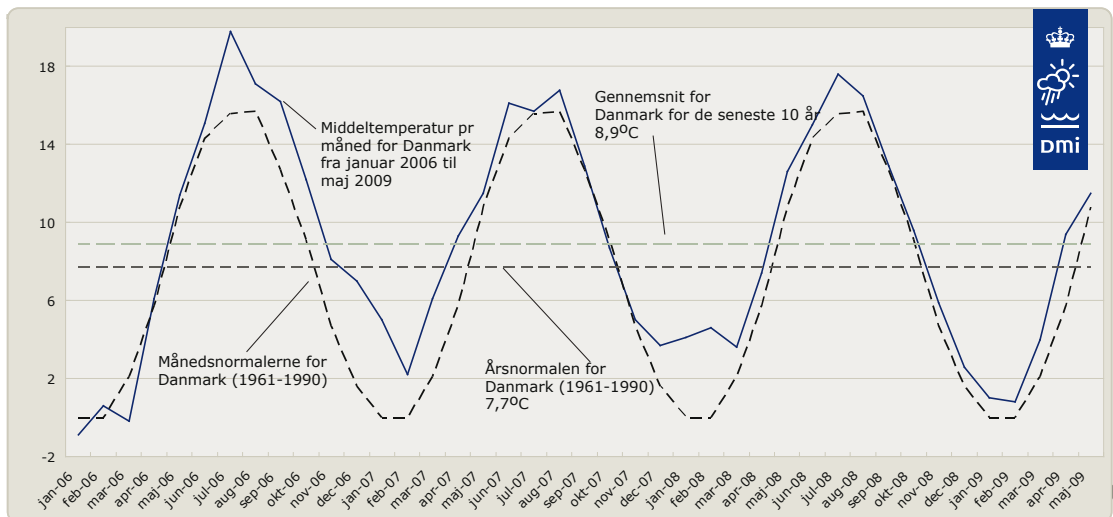
Figur 3: *Gennemsnitstemperatur i Danmark på årsplan 1873-2008. Klimaet er blevet 1,5 grader varmere i Danmark siden 1873. Opvarmningen har været særlig markant gennem de seneste 15 år. (Kilde: DMI TR 09-04 fig. 4).*

normalen på 7,7 grader. Udviklingen har været særligt markant gennem de seneste 38 måneder, hvor temperaturerne måned for måned – med undtagelse af oktober 2007 – konsekvent har overstøjet gennemsnittet for 1961-1990. Samtidig er der sat flere varmerekorder for de enkelte måneder, senest i april 2009, hvor temperaturen var på 9,4 grader, mens normalen er 5,7 grader.

"Klimaet i Danmark er nu 1,5 grader varmere end i 1870, og de varmeste år i hele perioden var 2007, 2006 og 2008. Opvarmningen i de seneste tre år hænger sammen med hyppig tilførsel af mild luft ind over Danmark. Udviklingen er fortsat i år med det meget varme forår", siger senior-klimatolog John Cappelen fra DMI.

"Parallelt med temperaturstigningen siden 1870 er nedbøren øget med omkring 100 mm om året som følge af ændringer i atmosfærens strømninger. Siden 1990 har den årlige nedbør i gennemsnit været på 745 mm, hvilket er 37 mm over normalen for 1961-1990, og samtidig er der sket et skift i nedbørsmønstret, så de største nedbørsmængder nu

Figur 4 (herunder): *Tre rekord-varme år. Bortset fra oktober 2007 har alle måneder fra januar 2006 til maj 2009 været varmere end normalt. Kilde: DMI.*



Figur 5: En af de automatiske målestationer i Danmark, som måler lufttemperaturen hvert tiende minut. Foto: DMI.



Boks 1: Klimamålinger i Danmark

DMI står for klimamålingerne i Danmark, som i stigende grad udføres med automatiske metoder.

Luftryk og lufttemperatur: Måles på målestationer fordelt over hele landet. Målingerne udføres med elektroniske sensorer, der er anbragt i ventilerede skærme to meter over terrænet.

Nedbør: Nogle målinger udføres manuelt med vandmålere, som tømmes hver morgen kl. 8, hvorpå resultaterne indtelefoneres til DMI. Andre målinger udføres automatisk bl.a. ved vejning af nedbøren, hvilket især er en fordel, når det sner. Punktmålingerne kan kombineres med radarmålinger, som dækker større dele af landet.

Solstråling og solskinstimer: Siden 2002 har man anvendt elektroniske pyranometre, som måler tilførslen af Solenergi i watt pr. kvadratmeter. Energtilførslen omregnes til solskinstimer.

Vind: Vindstyrken måles med kopanemometre, som er anbragt i master ti meter over terrænet for at undgå turbulensen nær jordoverfladen. Jo hurtigere anemometeret drejer rundt, jo stærkere blæser det. Vindretningen måles med vindfaner.

Vejrtype, sigtbarhed og skyer: Måles automatisk med optiske sensorer samt ved manuelle observationer. Skyernes højde måles de fleste steder med ceilometre, der sender laserpulser op i luften. Pulserne reflekteres af skyerne, og ankomsttidspunktet for de reflekterede stråler viser skyernes højde over jordoverfladen. Sky-mængden bestemmes ved at registrere de skyer, som i en given tidsperiode driver hen over måleren.

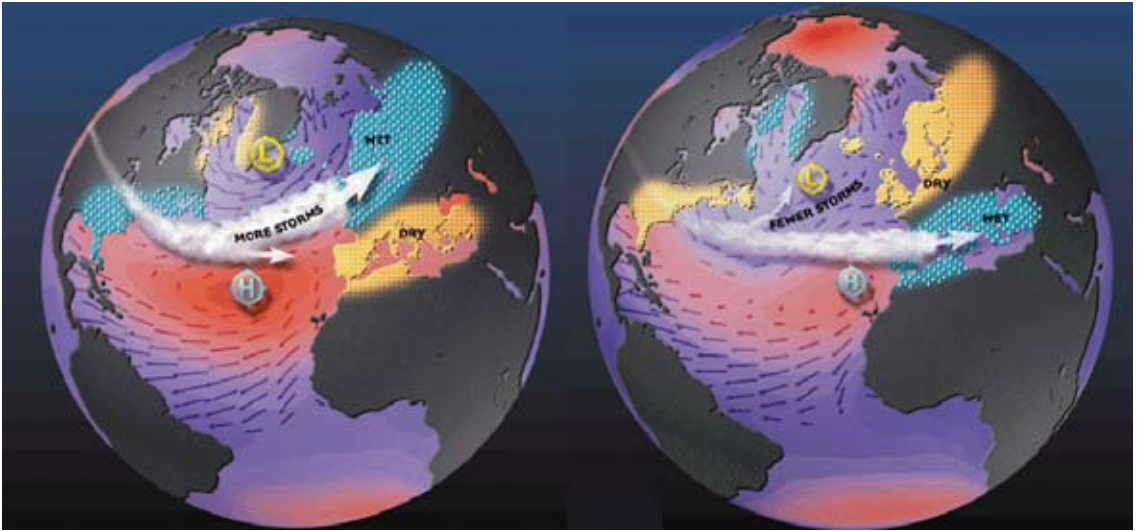
falder om vinteren frem for om efteråret. Antallet af solskinstimer er ligeledes steget i de senere årtier. Hvad vinde angår, blæste det lige så meget i Danmark i 1850 som i dag, og generelt er vindstyrken i Nordvesteuropa uændret siden dengang”, fortsætter John Cappelen.

Kurverne taler for sig selv

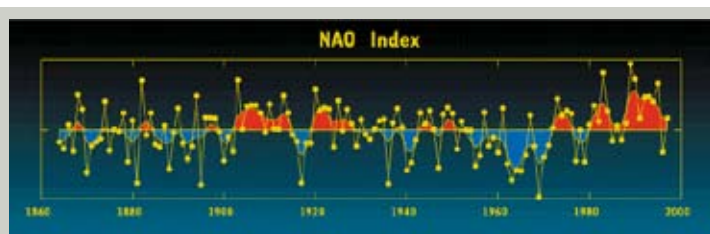
Af de mange klimaforandringer i Danmark er temperaturstigningen den mest markante, og det store spørgsmål er selvfølgelig, om opvarmningen skyldes naturlige variationer eller globale klimaændringer som følge af den menneskeskabte drivhuseffekt. Svaret er: Begge dele.

Det er især vintrene, som er blevet varmere. Det hænger bl.a. sammen med et klimafænomen, som kaldes den nordatlantiske oscillation (NAO), og som styres af højtryk over Azorerne og lavtryk over Island. Når NAO er inde i sin positive fase, er trykforskellen stor, og de kolde vinterstorme følger en nordlig bane mod Vestgrønland, mens mildere og våde vinde blæser ind over Nordeuropa. I den negative fase er trykforskellene mindre. Så kommer der færre vinterstorme til Grønland, og de milde og våde vinde fra Atlanterhavet blæser især ind over Sydeuropa, hvorved vintrene bliver varmere i Grønland og koldere i Nordeuropa. Den nordatlantiske oscillation har været inde i sin positive fase siden begyndelsen af 1980'erne, og det har bidraget til de varme vintre i Danmark og vore nabolande gennem de seneste 15 år.

"Der er altid skift mellem kolde og varme år, og derfor er det svært at skelne mellem naturlige variationer og global opvarmning som følge af den menneskeskabte drivhuseffekt. Men når det er sagt, så mener de fleste, at temperaturen på verdensplan gennem mange år er steget på grund af udslip af drivhusgasser fra afbrænding af fossile brænd-



Figur 6: Den Nordatlantiske Oscillation (NAO) varierer mellem to faser, som har afgørende betydning for klimaet i Europa om vinteren. Til venstre: Den positive fase med stor trykforskel mellem Azorerne og Island sender milde og våde vinde ind over Nordeuropa. Til højre: Den negative fase med mindre trykforskel medfører et koldere og mere tørt klima i Nordeuropa. Grafik fra <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>.



Kurven viser variationerne i NAO siden 1870. Den positive fase har domineret fra først i 1980'erne, hvilket har medvirket til de varme år i Danmark og Nordeuropa. Grafik fra <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>.

Boks 2:

Påvirkes NAO af mere CO₂ i atmosfæren?

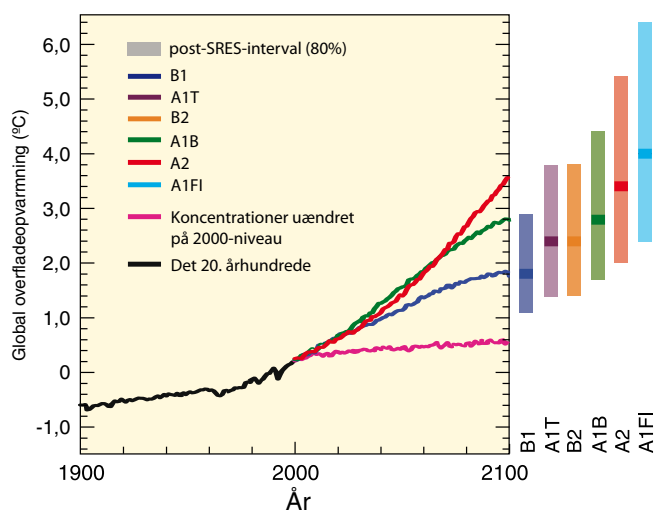
Gennem de seneste tre årtier er den nordatlantiske oscillation generelt blevet stærkere, og den positive fase nåede et historisk maksimum i 1990'erne. Forstærkningen af NAO er årsag til en betydelig del af opvarmningen om vinteren i Nordeuropa og det nordvestlige Asien, og NAO er således en væsentlig spiller bag den globale opvarmning.

I de senere år har internationale klimaforskere sat fokus på, om der er en sammenhæng mellem de stigende koncentrationer af CO₂ i atmosfæren og forstærkningen af NAO's positive fase. Det kan meget vel tænkes. Øgede atmosfæriske koncentrationer af drivhusgassen afkøler stratosfæren, og om vinteren forstærker afkølingen den stratosfæriske vindcirkulation 60 kilometer over Arktis. Fænomenet kan føre til kraftigere vestlige vinde ved jordoverfladen, hvilket er i overensstemmelse med en stærk positiv fase af den nordatlantiske oscillation.

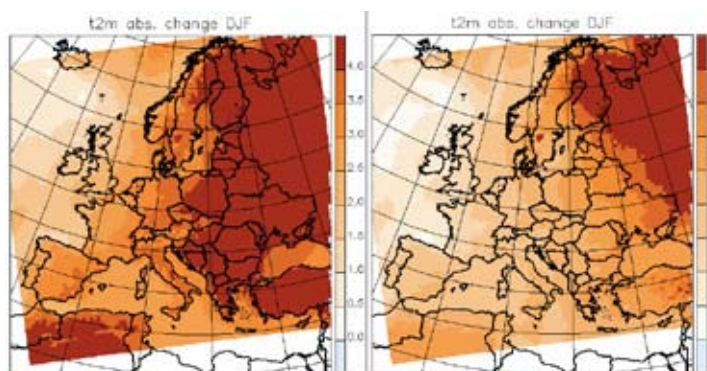
stoffer, og den globale opvarmning slår naturligvis igennem i Danmark ligesom alle andre steder. Klimakurverne taler for sig selv", siger John Cappelen.

Fremtiden i Europa og Danmark

Da IPCC udarbejdede sin seneste klimarapport, brugte ekspertpanelet globale klimamodeller til at beregne de sandsynlige konsekvenser af udslip af forskellige mængder drivhusgasser frem imod år 2100. Et af scenarierne, A2, fremskriver i grove træk den igangværende udvikling og ventes at føre til globale temperaturstigninger på mellem 2,0 og 5,4 grader med en middelværdi på 3,4 grader. Et andet scenarium, B2, med en forstærket klimaindsats peger på globale temperaturstigninger på mellem 1,4 og 3,8 grader i løbet af århundredet med en middelværdi 2,4 grader. Sidstnævnte scenarium indebærer, at det globale udslip af drivhusgasser skal begrænses med mindst 30 procent inden 2030 målt i forhold til år 2000.



Figur 8: Figuren er fra IPCC's klimarapport og viser den forventede udvikling i den globale temperatur frem imod år 2100 for seks forskellige udslipsscenarier. Scenarierne, bl.a. A2 og B2, har dannet grundlag for beregninger med højt opløste regionale klimamodeller for Europa.



Figur 9: De to kort viser de forventede temperaturændringer i Europa om vinteren. Til højre A2 scenariet. Til venstre B2 scenariet. Kilde: Danish Climate Centre Report 6-02.

Klimaforskere fra DMI har sammen med schweiziske, engelske, finske, irske og tyske kolleger udviklet højt opløste regionale klimamodeller, som giver et bud på, hvilke forandringer de globale klimaændringer vil medføre i Europa og dermed i Danmark. På det overordnede plan forudsiger modellerne temperaturstigninger om vinteren på 2-3 grader i Skandinavien og op til 4 grader i den nordvestlige del af Rusland,

mens temperaturstigningerne i Sydeuropa kun bliver på 1-2 grader. Om sommeren er tendensen omvendt med voldsomme temperaturstigninger på 5-6 grader i Sydeuropa og 1-2 grader i Nord-europa.

Hvad nedbøren angår, peger modelberegningerne overordnet set på stigende regnmængder i det nordøstlige Europa og Skandinavien samt markant faldende nedbør i Sydeuropa, hvor tørke og

skovbrande i forvejen er tilbagevendende problemer, som vil blive forværret frem imod år 2100. For Danmarks vedkommende er det usikkert, om vi får mere eller mindre regn om sommeren, da vi ligger lige på grænsen mellem områderne med stigende og faldende sommernedbør.

På grund af de varmere vintre herhjemme vil antallet af frostdage falde, og vækstsæsonen blive forlænget – med op til to måneder i A2 scenariet. Vi er med andre ord temmelig heldige, især sammenlignet med de tørkeramte Middelhavslande. Ganske vist bliver regnmængden sandsynligvis en smule mindre i Danmark om sommeren, men her kan landbruget vælge afgrøder, som er velegnede til dyrkning under de nye klimaforhold.

En joker i spillet er globale vandstandsstigninger, som i sagens natur er relevante for et kystland som Danmark. IPCC forudsagde, at vandstanden i oceanerne ville stige med mellem 18 og 59 centimeter frem mod år 2100, primært fordi opvarmning af havvandet øger dets volumen. Men panelet erkendte åbent, at det var vanskeligt at afklare, om smeltning af iskapperne på Grønland og Antarktis ville få havene til at stige yderligere. Ekspertterne manglede dengang både måledata og gode modeller over iskappernes dynamik i en varmere verden. Siden har satellitmålinger vist, at iskapperne er på skrupp både i nord og syd. På Grønland svinder Indlandsisen ind med 150 mia. tons om året, mens det årlige massetab fra iskapperne på Antarktis er på 200 mia. tons, hvoraf det meste kommer fra Vestantarktis.

"Det er sandsynligt, at vandstandsstigningerne i løbet af århundredet kommer til at ligge på mellem 35 og 85 centimeter, men der er stadig betydelig usikkerhed om fremtidens havniveau", siger klimaforsker Martin Drews fra DMI.



Figur 10: Hedebølger om sommeren efterfulgt af tordenskyll vil blive mere hyppige i Danmark.
Foto Anders Bruun, andersbruun.com.

Flere hedebølger

Én forudsigtelse går igen i samtlige regionale klimamodeller, og det er en stigende frekvens af ekstremt vejr såsom hedebølger og voldsomme regnskyl samt en forøget risiko for kraftige storme og stormfloder.

"Når de globale temperaturer stiger, kommer der mere energi ind i klimasystemet, og energiudvekslingen mellem de forskellige dele af verden stiger. Det skaber

grobund for mere ekstreme vejrforhold", siger Martin Drews.

Gennem de sidste hundrede år er frekvensen af hedebølger i Europa steget. Den voldsomme hedebølge i sommeren 2003 er det seneste eksempel, og schweiziske forskere har vurderet, at forholdene den sommer meget vel kan svare til en almindelig sommer sidst i århundredet. En hedebølge defineres som mindst

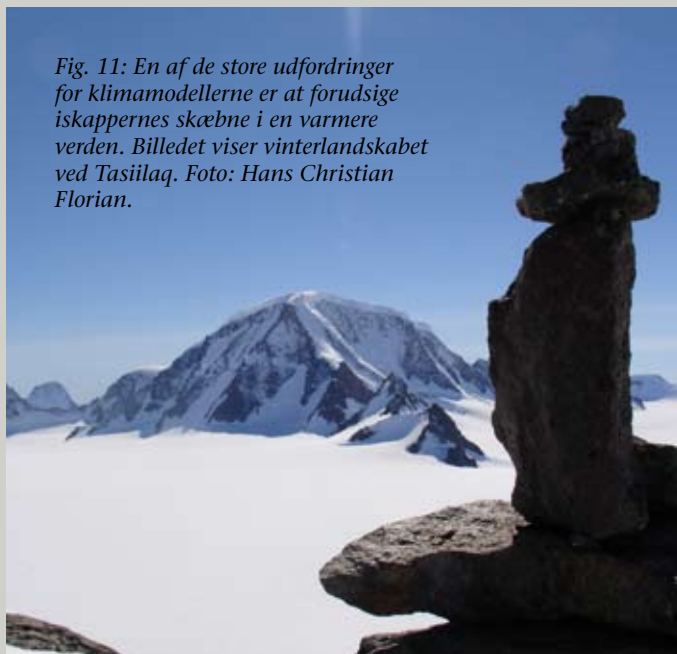
fire dage i træk, hvor temperaturen ligger mere end fem grader over gennemsnitstemperaturen for årstiden.

Fremover vil opvarmningen af de europæiske landmasser om sommeren føre til flere hedebølger, og både antallet og varigheden vil afhænge af de globale temperaturforhold. Klimaforsker Ole Bøssing Christensen fra DMI har beregnet, at IPCC's A2 scenarium med globale tem-

Tabel 1: Konsekvenser af ekstreme vejrforhold

	Helbred	Landbrug	Skovbrug	Bygninger og infrastruktur	Økosystemer
Hedebølger	Øget sygdom og dødelighed	Skader på afgrøder, stress for husdyr	Formindsket vækst, flere skadedyr, vandmangel	Øget energiforbrug til køling	Stress for vilde dyr og planter
Voldsomme regnskyl og tørke	Oversvømmelser, forringet vandkvalitet, vandmangel.	Misvækst som følge af vandmangel eller for voldsom nedbør	Vandstress	Oversvømmelser, landskred, sammensynkning af jordbunden, skader på fast ejendom	Jorderosion, vandstress
Storme	Ulykker	Skader på afgrøder	Tab af tømmer, insektskader	Skader på bygninger	Reduceret biodiversitet
Stormfloder	Oversvømmelser	Oversvømmelser, erosion	Oversvømmelser, erosion	Oversvømmelser, erosion	Oversvømmelser, erosion

Fig. 11: En af de store udfordringer for klimamodellerne er at forudsige iskappernes skæbne i en varmere verden. Billedet viser vinterlandskabet ved Tasiilaq. Foto: Hans Christian Florian.



Boks 3:

Den næste generation af klimamodeller

Grundlæggende indeholder de globale klimamodeller tre dominerende usikkerheder. Den ene er i hvor høj grad det vil lykkes verden at bremse eller nedbringe udslippene af drivhusgasser. Den anden er, hvor følsomt Jordens klimasystem er over for forskellige koncentrationer af CO₂, metan og andre drivhusgasser i atmosfæren. Og den tredje er, hvor godt modellerne repræsenterer klimasystemet som helhed.

De fremtidige udslip er et politisk spørgsmål, men forbedrede klimamodeller kan øge forståelsen af klimasystemet og dets følsomhed over for drivhusgasser. Det kan føre til mere sikre bud på konsekvenserne af de politiske beslutninger; ikke mindst på klimatopmødet i København senere på året.

"En vigtig forbedring i klimamodellerne er, at man nu er begyndt at kunne beregne, hvordan Jordens store iskapper vil reagere på globale temperaturstigninger. De første modeller er simple, men næste generation vil blive bedre", siger Martin Drews.

Den næste store udfordring for klimamodellerne bliver bl.a. at omfatte hele kulstofkredsløbet især med hensyn til, hvordan biosfæren vil reagere på øgede mængder af CO₂ i atmosfæren. Hidtil har modellering af klimaet primært været en fysisk baseret videnskab, men fremover skal biologernes viden indarbejdes i modellerne i langt højere grad.

Endelig bliver det nødvendigt at kombinere de fysisk-biologiske modeller med grundlæggende socioøkonomiske scenarier. "Vil verdens lande aktivt bekæmpe klimaforandringerne, eller vil vi give op og tilpasse os de nye forhold? I sidste ende bliver menneskenes reaktion afgørende", siger Martin Drews.

peraturstigninger på omkring 3,4 grader vil føre til dobbelt så mange hedeølger i Europa, som hvis det lykkes at opfylde EU's klimamålsætning om at holde de globale temperaturstigninger under 2 grader. Hedeølgerne vil ofte blive afsluttet af voldsomme tordenskyll.

Uanset det valgte scenarium ventes antallet af hedeølger at stige mest i Centraleuropa, som vil få lige så mange sommerdage med dagtemperaturer på over 30 grader, som det nu er normalt i Sydeuropa. Hedeølger om sommeren vil også blive mere hyppige i Danmark, men ikke i samme omfang.

Voldsomme regnskyll

Regnskyll, der er så voldsomme, at de kan føre til oversvømmelser, følger et forskelligt mønster om sommeren og om vinteren i Europa. Om vinteren fremkaldes oversvømmelser typisk af langvarig regn, som varer fem dage eller mere, mens oversvømmelser om sommeren for det meste skyldes lokaliserede regnskyll, der ofte er overstået samme dag.

Om vinteren forudsiger klimamodellerne, at der vil blive flere ekstreme regnskyll nord for Alperne og færre i Sydeuropa. Modelberegningerne forudsiger en tredobling af frekvensen i det nordvestlige Europa, Østeuropa og Skandinavien. Om sommeren vil der blive markant færre voldsomme regnskyll i Sydeuropa og flere i Skandinavien og Nordøsteuropa.

"Danmark ligger i en zone, hvor det er svært at forudsige udviklingen i nedbøren, specielt om sommeren. Men klimamodellerne peger på, at vi vil få flere hedeølger, som ofte efterfølges af tordensvejr. Vejret i de senere år med ekstreme regnskyll om sommeren er et meget godt billede på, hvad der sikkert kommer mere af", siger Martin Drews.

Storme og stormfloder

Det er vanskeligt at modellere de fremtidige ændringer i vindmønstre og stormstyrker, men DMI's beregninger indikerer, at Danmark næppe vil få flere storme, men at stormene til gengæld vil vokse i styrke. Flere regionale klimamodeller peger samtidig på, at der vil komme flere vinterstorme ind over Nordeuropa fra Nordøen, hvilket vil medføre en stigende frekvens af stormfloder, i Holland, Tyskland og Danmark.

"For Vesterhavets vedkommende er der udført simple modelberegninger, hvor skønnet er 30 centimeter højere stormfloder frem imod år 2100, og her til skal så lægges den generelle vandstandsstigning i verdenshavene. Men der er behov for at udføre egentlige koblede regionale modelberegninger, som omfatter både hav og atmosfære, for at komme med et realistisk bud på fremtidens regionale vandstandsstigninger og stormfloder. Men hensyn til Østersøen og de andre farvande er der endnu ikke udført beregninger", siger Martin Drews.

Storm P. sagde engang, "at det er svært at spå, især om fremtiden", men der begynder at tegne sig et billede af klimaet i Danmark om hundrede år: Varmere vintre med mere nedbør, varmere somre med masser af solskin og mindre regn. Flere hedeølger, flere voldsomme regnskyl, kraftigere storme og højere stormfloder.

Rolf Haugaard Nielsen er freelance videnskabsjournalist. Denne artikel er skrevet på vegne af DMI.

Kilder:

DMI tema, 19. marts 2007: Klimaudviklingen frem til i dag
http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/klimaet_indtil_nu.htm

DMI Nyhed 28. januar 2009: Vindstyrken i Nordvesteuropa

uændret siden midten af 1800-tallet

http://www.dmi.dk/dmi/vindstyrken_i_nordvesteuropa_uændret_siden_midten_af_1800-tallet

DMI Nyhed 3. maj 2009: Tre år i varmen

http://www.dmi.dk/dmi/36_maaneders_varme

DMI Technical Report 09-02, Dansk vejr siden 1874 – måned for måned med temperatur, nedbør og soltimer samt beskrivelser af vejret; John Cappelen og Bent Vraae Jørgensen

http://www.dmi.dk/dmi/tr09-04_grafik.zip

<http://www.dmi.dk/dmi/tr09-02.pdf>

<http://www.dmi.dk/dmi/tr09-02.zip>

DMI Technical Report 09-04, DMI Annual Climate Data Collection 1873-2008, Denmark, The Faroe Islands and Greenland; John Cappelen.

<http://www.dmi.dk/dmi/tr09-04.pdf>

http://www.dmi.dk/dmi/tr09-04_data.zip

DMI, Danish Climate Centre Report 06-02, Regional climate change in Denmark to a global 2-degree-warming scenario; Ole Bøssing Christensen

<http://www.dmi.dk/dmi/dkc06-02>

Storms in Denmark, 1891 – 2008 edited by John Cappelen and Stig Rosenørn, DMI

<http://www.dmi.dk/dmi/storme-2.pdf>

DMI, Klimamålinger i Danmark:

Nordstrøm C (2005): Bag om meteorologiske instrumenter:

Måling af lufttryk ved DMI, Vejret 102, s. 30.

Nordstrøm C (2005): Måling af lufttemperaturer ved DMI, Vejret 103, s. 33.

Nordstrøm C (2005): Måling af luftfugtighed ved DMI, Vejret 104, s. 14.

Nordstrøm C (2005): Måling af globalstråling og solskinsvarighed ved DMI, Vejret 105, s. 12.

Nordstrøm C (2006): Måling af vind ved DMI, Vejret 105, s. 12.

Nordstrøm C (2006): Måling af nedbør ved DMI, Vejret 106, s. 4.

Nordstrøm C (2006): Måling af vejrtype, sigtbarhed og skyhøjde ved DMI, Vejret 108, s. 7.

Dansk Meteorologisk Selskab DaMS – Artikler i Vejret N-U
http://dams.dk/?Medlemsbladet_Vejret:Artikler_i_Vejret:N_-_U

Videncenter for Klimatilpasning, Klima- og Energiministeriet, Energistyrelsen
www.klimatilpasning.dk

Global Temperature; Climate Research Unit, University of East Anglia, UK

<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>

North Atlantic Oscillation; Lamont-Doherty Earth Observatory, The Earth Institute, Columbia University, USA
<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>



På geologisk feltarbejde ved Møns Klint efteråret 2008 med 3g valghold naturgeografi B. Klimaundervisningen er et aspekt, da Møns klint består af kulstof, som har biologisk oprindelse. Kulstoffet befandt sig for millioner af år siden i Jordens atmosfære i et meget varmere klima. Foto: Johan Drost.

Klima – den grønne tråd i geografiundervisningen

Af Lisbeth Jakobsen

Klima har skiftet rolle fra en disciplin, der i bedste fald kunne tematiseres i et regionalt perspektiv til en gennemgående synsvinkel på alle områder i undervisningen i naturgeografi i gymnasiet. Det er en gave til faget, at klima er så aktuelt, da det er vanskeligt at forestille sig, at de problemstillinger vi arbejder med ikke er relevante, men samtidig lurer der også en fare for at eleverne kan få forstoppelse af klima "det har vi hørt før", og andre fag tager naturligvis også klima op i undervisningen.

Klimaundervisning

Denne artikel bygger på erfaringer fra gymnasieundervisning i geografi i næsten 25 år.

Med gymnasieformen 2005 blev geografi til naturgeografi og vægten forskudt mod naturvidenskab.

Samtidig kom kompetencer i fokus frem for pensum og kundskaber.

Klima har altid været et kerneområde i undervisningen og står nu mere centralt end nogensinde. Ikke mindst fordi de aktuelle klimaproblemer sætter emnet i

centrum, men også fordi klima fra at være en disciplin nu er en gennemgående synsvinkel på alle fagets kerneområder.

For mange år siden var klimaundervisning hovedsagelig det primære vindsystem og klima-

plantebælter, som mere eller mindre blev behandlet som en disciplin, der herefter kunne sættes i anvendelse i forbindelse med et regionalt tema. Mange gode undervisningsforløb har handlet om menneskers levevilkår i forskellige dele af verden med klima som en "baggrundsvariabel".

Med reformen fra 1988 blev natur og samfundssiden vægtes lige, og klima fik en større plads med vægt på de fysiske processer. Det var ikke længere nødvendigt at begrunde et undervisningsforløb med en regional og samfundsvidenskabelig tilgang. Bæredygtighed introduceres i 1987 og de første klimakonferencer i samme tidsperiode aktualiserer klima som et komplekst og globalt problemområde.

Med det nye fag naturgeografi fra 2005 er klima et aspekt af næsten alle emner/temaer. Klima er blevet den grønne tråd i undervisningen. Også andre fag har klima på dagsordenen, og mon ikke det topper i år med klimakonference i København? I hvert fald er der en strøm af invitationer til workshops, konkurrencer, foredrag m.m. til gymnasieelever.

Hvordan undervises der i klima i dag?

Klimaet og dets betydning for menneskets livsvilkår er et centralt kerneområde, som ofte vil behandles som et selvstændigt tema i ca. en fjerdedel af undervisningstiden. Det ses også af de gængse lærebøger i faget at klima fylder meget sidemæssigt, og der er en grundig behandling af vejr, klima og klimaændringer herunder klimazoner og plantebælter. Der er ikke andre fag end naturgeografi der giver en grundig naturvidenskabelig indføring i fx det primære vindsystem og havstrømmenes betydning for klima. At se Jordens klima i et samlet globalt overblik og med regionale eksempler fra alle klimazoner er særligt geografisk. Derimod er

Faktaboks: Naturgeografi i gymnasiet

Naturgeografi i gymnasiet handler om grundlæggende naturprocesser og naturforhold på Jorden og deres betydning for menneskers livsvilkår samt Jordens, livets og landskabernes udviklingshistorie i både et langt geologisk tidsperspektiv og i et aktuelt, samfundsmæssigt og kulturelt perspektiv (Naturgeografi UVM 2008).

Faget er defineret som et naturvidenskabeligt fag, men de samfundsvidenskabelige og kulturelle aspekter er der stadigvæk som det ses af beskrivelsen.

Der tales i dag om geofaglighed og kompetencer og undervisningen skal være emneorienteret og som oftest med et aktuelt perspektiv. Som prikken over i'et skal problemstillingernes relevans begrundes til eksamen – den er der vist ikke andre fag der har fundet på.

I hf er navnet geografi bibeholdt, men der læses altid efter stx bekendtgørelsen for naturgeografi på B-niveau.

der naturligvis mange fag der tager drivhuseffekten op. Jordens samlede energibalance og klimaeffekter af drivhuseffekten er et ægte tværvideenskabeligt område, som bedst belyses fra mange forskellige sider. I naturgeografi er helhedsperspektivet vigtigt, og samtidig kan der zoomes ind og ud på forskellige regioner.

Derudover er det lange perspektiv med klimaændringer et særligt kerneområde. I geologisk tidsskala har der været meget store klimaudsving, og det aktuelle spørgsmål om global opvarmning skal også ses i dette

perspektiv. Her kan det ligefrem blive politisk stof, hvad der står i vores lærebøger

Klimaundervisning fagdidaktisk set

I slutningen af året 2008 var der en mediedebate om Geografihåndbogen og dens "for tydelige satsning" på solpletteorien frem for drivhuseffekten. Der blev sat spørgsmålstejn ved dens videnskabelige basis, og både forfattere og geografilærerforeningens formand udtalte sig. Debatten afspejlede, at vores undervisning ofte ligger lige i kanten af den nyeste forskning, så det kan være et spørgsmål om at opdatere nyeste viden. Men som geografilærer er man vant til, at der hele tiden kommer nye teorier og ny viden på banen, og vi også skal forholde os til i undervisningen. Det er klart at de forskellige ret skarpe naturvidenskabelige debatter som fx den om solpletter, også afspejler sig i lærernes undervisning. Man møder også i geografilærererkredse en løbende diskussion af de forskellige teorier og også ofte en uenighed om, hvor stor betydning de menneskeskabte effekter har på klimaet på længere sigt.

Det er spændende at undervise i et fag der har så aktuelle problemstillinger, med andre ord et ægte tidstypisk nøgleproblem iflg. Klafki (2001). Disse problemer har en placering i den offentlige debat, og svarene på problemerne er ikke givet på forhånd. For elevernes synspunkt er der dermed åbnet for en faglighed, der ikke bare er en reproduktion af viden men også en deltagelse der giver mening. Omvendt kan klima så også blive en belastning for de elever, der er trætte af at høre om problemer og heller vil drømme sig til et Stillehavs ø uden at tænke på, at den måske kan risikere at forsvinde. Af den grund er det efter min erfaring ikke en god ide at åbne alle emner med en problemstilling og rela-

tere til den globale opvarmning altid. Klima er ikke kun interessant for eleverne fordi de så kvalificeres til at handle og deltage, men indsigt i naturens processer har en værdi i sig selv.

Den grønne tråd i undervisningen

Klima er et særligt kerneområde, men kan samtidig fungere som den grønne tråd i undervisningen.

I fagdidaktisk sammenhæng er det en overskudssituation, men da der samtidig er rigtig mange kokke på området, er det en udfordring at give den faglige ballast for at forstå den naturvidenskabelige sammenhæng i klimaspørgsmålet, samtidig med at vidensområdet vokser og påvirkes af samfundsudviklingen.

Der er et stort behov for at naturvidenskaben vil give det "endelige sande svar" på klimaeffekterne, men vi kan ikke med troværdighed optræde som det fag der giver alle svarene. Naturgeografi kan bidrage med den grundlæggende forståelse af naturprocesserne og bygge bro til de andre fag - ikke mindst den altid nødvendige bro mellem natur-samfunds forståelsen. I det kommende skoleår vil der ganske givet være mange AT-undervisningsforløb (almen studieforberedelse) og temadage, der handler om klima, og mon ikke også geograferne er nøglepersoner i disse sammenhænge.

Nogle eksempler fra undervisningen der ikke direkte har klima som overskrift

- **Vandressourcer**

Vandets kredsløb er omdrejningspunktet i undervisning om vand, og i dag vil det være oplagt at koble de forskellige klimascenarier med udviklingen i vandressourcer. Vandets kredsløb er under forandring og i DK forventes en større nedbør og

dermed større vandløb og søer og effekterne vil hele tiden referere til "hvis så" (Geoviden nr.2 2009). Andre steder på Jorden vil der blive vandmangel fx i Kina og endnu mere i Sydeuropa og Sahel-landene, som kan inddrages som cases.

- **Energiressourcer og menneskers livsvilkår forskellige steder på Jorden**

Energiforbruget har en direkte kobling til klimadebatten og igen kan det globale perspektiv indtages. Ikke mindst de demografiske forhold (som ellers næsten røg ud med reformen) er et væsentligt aspekt her: udviklingslandene har fra start med Indien som førende krævet, at befolkningsforhold ikke bare kvantitativt men også kvalitativt frem i tiden sættes i spil: I har brugt jeres del af ressourcerne, nu er det vores fremtidige generationer der skal prioriteres!

- **Produktion, forbrug, ressourcer og bæredygtighed**

Denne overskrift kan rumme næsten alt, men er uden mening uden et konkret udgangspunkt i fx erhvervsforhold. Trafik og planlægning er en oplagt kobling til klima, men også den grundlæggende forståelse for de naturgivne forudsætninger for et samfunds ressourcer: hvornår slipper olien op og hvad så? Endvidere kobler problemstillingen til den enkeltes ansvar m.h.t. (over)forbrug og stillingtagen til fx trafikformer.

- **Geologi og udviklingshistorie**

Denne del af faget er blevet oprioriteret, og naturgeografi har som det eneste faggeologi i sin læreplan. Pladetektonik med vægt på jordskælv og vulkanisme er næsten altid med i undervisningen og et hit. På B-niveau er der tid til at fordybe sig mere i geologiens arbejdsmåde, da den egner sig overmåde godt til feltarbejde. Det er umuligt at nå en kronolo-

gisk gennemgang, men fokus på fx kridttiden som eksempel vil give gode koblinger til nutidens klimaproblemstillinger. Mange steder i landet er der synlige og tilgængelige spor af kridttiden og der er masser af pædagogisk materiale, ikke mindst hvis man besøger Geocenter Møn eller Stevns klint. På Roskilde Gymnasium er vi i gang med for andet år i træk at tage på feltarbejde 2 1/2 dag til Møn med vores 3g klasser. Det giver masser af stof til resten af året om det lange tidsperspektiv i klima. Begivenheder for 65 mio. år siden ved overgangen fra Kridt til Tertiær var samtidig en dramatisk ændring i Jordens klima. Hvad skete der dengang og har det relevans for vores nutidige klimaforståelse? Det er spørgsmålene der kan stille sig og hermed blive klogere på det lange kulstofkredsløb.

- **Landskabernes dannelse**

Landskabsdannelse er påvirket af klimasvingninger ikke mindst istider, der direkte former Jordens overflade. Men også erosion er klimabestemt og Jordens atmosfære med ilt betyder at bjergkæder kan forvitre og nedbrydes. De lokale eksempler med istidslandskaber er en klassiker i undervisningen. Men nu er der også mulighed for at finde lokale eksempler på havniveau-stigninger som flg. af forøget drivhuseffekt - det påvirker huspriserne, kloakeringen og i det hele taget den fysiske planlægning, og er dermed kommet helt ind i den enkelte kommunes planer.

- **Pladetektonik**

Eleverne får altid kendskab til Jordens opbygning og udvikling og en forståelse af Jorden som en dynamisk planet. Pladetektonik og klima hænger også sammen fx gennem vulkanisme. Det dramatiske perspektiv med super-vulkanisme der kan "ødelægge"

Jordens klima er som regel noget eleverne har hørt om.

- *Udviklingsperspektiver mellem I-og Ulande*

Især på B-niveau er det muligt at nå et tema om den opdelte Verden mellem rige og fattige lande og udviklingsteorier. Klimadebatten har givet et nyt perspektiv på fremtiden: bliver det en intensiveret kamp om ressourcerne eller måske en mulighed for et globalt fælles perspektiv på udvikling – ingen kan overleve uden en fælles indsats? Problemstillingen er mere samfundsvidenskabelig end naturvidenskabelig, men på den anden side er det blevet tydeligt at koblingen mellem natur og samfund er kernen i flere og flere udviklingsproblemer.

- *Metoderne*

Klima i helhedsperspektiv har et oplagt problem i et laboratorium. De fysiske processer kan jo naturligvis reduceres til små eksperimentelle øvelser om fx opvarmning/afkøling. Men der er ofte meget lang vej til de mere interessante klimasammenhæn-

ge. Derfor må den naturvidenskabelige metode ofte baseres på data som ikke er fremstillet i laboratoriet men hentet fra større og mere professionelle undersøgelser. Fortolkning og analyse af data, diagrammer og modeller er vigtige metoder i klimaundervisningen. Fremtiden sættes i scenarier og modeller og der er store usikkerhedsfaktorer. Det væsentligste er at eleverne kan få indblik i autentiske modeller og videnskabelige diskussioner om deres validitet.

- *Risiko for klimaforstoppelse*

Der kan være en reel risiko for at eleverne kører træt i klimaundervisning. De fleste undervisere kender til, at de gode intentioner om et sammenhængende undervisningsforløb kan blive mødt af: det har vi hørt før. Men klima som den grønne tråd i geografiundervisningen er ikke noget, der er opstået ved skrivebordet, når geografilæreren planlægger årsplanen. Det er noget der fagligt set findes og aktualiserer sig i den nyeste viden, aktuel for-

midling og samfundsdebat. Det er dermed ikke nødvendigt at forklare sig for at overføre sammenhængen fra lærerens plan til elevernes tilegnelse. Den bliver så at sige serveret af sig selv og kan både præsenteres som for forståelse men også erfares som eftertanke og refleksion.

Det vil efter min mening være en belastning at tale om aktuel klimadebat i hver time. Opgaven er ikke så meget at aktualisere og debattere hele tiden, men mere at give en faglig ballast for at følge med i aktuelle klimaspørgsmål, som kan inddrages som reflektionsspørgsmål. Samtidig må man ikke fratage eleverne deres nysgerrighed og interesse for naturvidenskab "i sig selv" ved altid at starte med problemerne. Der er nok heller ikke mange geografilærere der kun har været drevet af problemstillinger.

Lisbeth Jakobsen er gymnasielærer i geografi på Roskilde Gymnasium.

Litteratur:

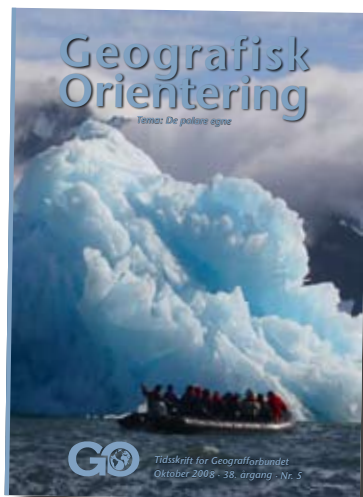
UVM 2008 læreplan og vejledning for naturgeografi C og B.

Geofaglighed som kompetencer, Tunet 2008. Redaktion af Pernille Ehlers og Glen Volkers.

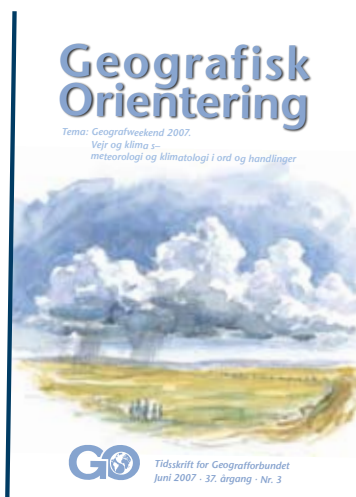
Klafki, W.: Dannelsesteori og didaktik, Klim 2001.

Foto: Johan Drost.





GO 5/2008



GO 3/2007



GO 4/2005



GO 2/2008



GO 6/2005

Vejr/klimaartikler i tidligere numre af GO

GO 3/2007 var et temanummer om vejr og klima i forbindelse med GW 2007 – i alt 7 artikler. Derudover har der i GO været 5 artikler om emnet siden 2000.

"Klimaforandringer og deres effekt i Arktis", Sebastian H. Mernild, GO 5/2008

"Klimaændringer giver nyt dansk landbrugslandskab", Jørgen E. Olesen, GO 2/2008

"Vejret – en kompliceret størrelse", Jesper Theilgaard, GO 3/2007

"Drivhuseffekten, Danmark og dagligdagen", Anne Mette K. Jørgensen, Bjarne Siewertsen, GO 3/2007

"Vejret i 2007 – DK, Nuuk, Torshavn", John Cappelen, GO 3/2007

"Verdensvejret anno 2006", John Cappelen, GO 3/2007

"Byvejr", Kristian Hegner Reinau, Arne I. Sestoft, GO 3/2007

"At arbejde med vejrobservationer", Finn Uno Kofoed, GO 3/2007

"Varmere, vådere og vildere", Niels Olsen, Asta Ostrowski, GO 3/2007

"Banker Oceanernes Kolde Hjerter", Erik Buch, Steffen Olsen, GO 6/2005

"Jordbund og klima på Grønland", Bo Eberling, GO 4/2005

"Klimaforskning ved forskningsstationen Zackenberg", Morten Rasch, GO 4/2005

"Drivhuseffekten", Anne Mette K. Jørgensen, GO 4/2003

Henning Strand
redaktionen

Aktuelle temaer fra det Økologiske Råd –

til brug i undervisningen

Sund mad til en syg klode

Et undervisningshæfte med et kogebooksindstik og en dvd (26 min.), der tager fat på **udfordringer og dilemmaer i landbrugets og fødevarers samspil med klima, miljø og natur**.

Filmen følger 140 efterskole elevers kostlægnings til sund og klimavenlig mad. I hæftet diskuteres: Hvordan afvejes klima og husdyrvelfærd? Hvordan måles fødevarers klimapåvirkninger? Hvilke politiske dagsordener er i spil?

Materialet er tilgængeligt både på dansk og engelsk – det engelske hæfte dog kun i printervenlig version fra nettet.

Pris: Hæfte 20 kr./stk. og 10 kr./stk. ved bestilling af klassesæt. DVD: 50 kr. inkl. moms. Plus betaling af porto og administration (10 kr).



Fra elektronik til e-affald

Om **eksport af farligt affald til ulande** med fokus på elektronik affald. Under 1/4 af EU's e-affald indsamles. En stor del af resten havner i ulande. Hvordan er lovgivningen i Danmark og EU? Hvad kan *du* gøre?

Den globale opvarmning

Hæfte om den **globale klimakrise**. Få viden om den historiske udvikling på klimaområdet, om konsekvenser for os og for folk i ulandene og om klimapolitik i EU såvel som FN's Kyotoaftale. Vi sætter også fokus på hvordan klimaforandringer stoppes – og på hvad der specielt kan gøres i Danmark.

Målgruppen er især biologi, samfundsfag og geografi i gymnasiet og HF, de ældste klasser i folkeskolen samt folkeoplysning og voksenuddannelse.

På www.ecocouncil.dk finder du vores mange publikationer. Du kan downloade eller bestille dem stykvis eller som klassesæt. Du finder også vores plancheudstillinger som kan lånes, og meget mere.

Støttet af Europeanævnet, Energisparepuljen, Danida og R98-fonden.





Foto: Louise Docker.

Fagudvalget er i indeværende år blandt andet meget optaget af at tænke klima i geografiundervisningen aktualiseret af den store interesse for det kommende internationale klimatopmøde sidst på året i København.

I vores Klumme: "Klimatopmødet og undervisningen i geografi", Geografisk Orientering nr. 1, februar 2009, forsøgte fagudvalget at udmønte nogle af de overvejelser, læreren bør foretage, når den gode klimaundervisning skal planlægges.

Følgende artikel skal ses i denne sammenhæng. Artiklen skulle gerne give inspiration til en øget opmærksomhed på de mange muligheder, der viser sig, når klima er temaet i geografiundervisningen.

Aktualisér din undervisning op til klimatopmødet

Af Bjarke Lindemann Jepsen

Klimatopmødet i København står for døren, og mange undervisere bruger allerede en masse tid på naturfaglig undervisning om klimaet. Klimaundervisning.dk gør det let for dig at finde de nyeste og aktuelle undervisningsmaterialer. Du kan også bidrage med dine egne ideer.

Alle taler om klimaet. Det er uden tvivl oplagt at tage op i undervisningen lige nu, hvor FN's klimatopmøde hastigt nærmer sig, og medierne nærmest dagligt rapporterer om klimaets ve og vel. Af den grund er der de sidste par år blevet produceret en lang række læremidler med klima som fokus, og det vrirler i dag med tilbud om efteruddannelse, besøg på naturskoler og invitationer til diverse klimabegivenheder.

De naturvidenskabelige fag er vigtige i klimaundervisningen. Der lærer eleverne at forstå mekanismerne bag naturlige og men-

neskeskabte klimaforandringer, konsekvenserne for naturen, hvordan man laver modeller, der kan fortælle hvordan klimaet udvikler sig under givne forudsætninger og meget mere. Derved giver man ikke bare eleverne solid viden, man ruster dem også til at kunne forholde sig til den offentlige klimadebat. Den gode nyhed er, at klimaundervisning.dk har samlet den nyeste teori og praksisstof i en kæmpe læremiddelsamling, der gør det lettere for undervisere at finde nye læremidler til undervisningen.

Alt er samlet ét sted

Karen Vesterager, som er projektleder på klimaundervisning.dk, har sammen med en række medarbejdere hos Dansk Naturvidenskabsformidling været i gang med at samle det hele på et kæmpe website:

"Undervisningsministeriet og Dansk Naturvidenskabsformidling er gået sammen om at udvikle klimaundervisning.dk, der er en klimaundervisningsportal med lærernetværk, tilbud om konferencer og en kæmpe læremiddelsamling til de fleste fag - til grundskolen, ungdomsuddan-

Undervisningsministeriet og geografi i folkeskolen:

Undervisningsministeriets fagkonsulent i Geografi:
Henrik Nørregaard. Henrik.Norregaard@uvm.dk Tlf. 2081 6883

Følg nyheder på:
<http://www.emu.dk/gsk/fag/geo/fagkonsulent/index.jsp>

nelserne og erhvervsakademi- og professionsbacheloruddannelserne. Alt er samlet ét sted."

Karen Vesterager understreger, at klimaundervisning.dk ud over at være en læremiddelsamling, også er et dynamisk forum for lærere, der aktivt ønsker at inddrage klimaet i undervisningen. Det sker igennem nyhedsbreve og et ny lanceret "lærer-til-lærer" udvekslingsforum på sitet.

Undervisningsportalen der matcher dine behov

Læremiddelsamlingen er skræddersyet til undervisere. Der er over 700 læremidler at søge i på sitet, og tallet vokser støt. Men selvom databasen er stor, skal det være let at finde lige præcis det, man leder efter. Alle læremidlerne er derfor ordnet efter fag, klassetrin og materialetype. Derudover har alle tilknyttet emneord, så det er nemt at finde materialer til netop det klimatema, man har fokus på – hvad enten det er i det enkelte fag eller tværfagligt. Blandt materialetyperne finder man både hjemmesider, bøger, You Tube-klip, forsøgsvejledninger, besøgssteder og hele undervisningsforløb.

Rigtig mange af materialerne på klimaundervisning.dk er rettet mod undervisere i de naturvidenskabelige fag. Søger man fx på klimamodeller i læremiddelsamlingen, fremkommer vidt forskellige forslag - fra links til DMI's fire fremtidsscenerier for klimaet, klassebesøg på Center for Is og Klima på Københavns Universitet til DR 2's programmer om klima. Og klimamodeller



Karen Vesterager er projektleder på klimaundervisning.dk, som Dansk Naturvidenskabsformidling laver i samarbejde med Undervisningsministeriet.

er kun et af over 150 søgeemner. Et par stykker af de andre er: fald, energiteknologi, feedbackmekanismer, istid, klimaflytning, skybrud og vadehavet.

1800 klimalærere har allerede tilmeldt sig

Klimaundervisning.dk tilbyder også et klimalærernetværk. Netværket er stort og består af over 1800 lærere. Klimalærerne modtager hver måned et nyhedsbrev med nyt om efteruddannelse, støtteordninger, læremidler og klimalærerkonferencer, og er derfor altid velorienterede om hvad der rører sig i klimaundervisningsverdenen. Klimalærerne får også personlige invitationer til de konferencer klimaundervisning.dk holder.

Det er gratis at være medlem af klimalærernetværket. Tilmel-

ding sker direkte på klimaundervisning.dk

Velkommen til Web 2.0

Men medarbejderne bag klimaundervisning.dk håber også, at lærerne selv bidrager med gode forslag og konkrete ideer. Karen Vesterager forklarer, at et af de seneste tiltag på klimaundervisning.dk er et lærer til lærer-forum, hvor lærere og undervisere kan lægge egne undervisningsforløb op på sitet. Det eneste det kræver er et UNI-login.

Klimaundervisning.dk er altså en lang række tilbud til de lærere og undervisere, der gerne vil bidrage aktivt til en styrket klimaundervisning op til klimatopmødet i København. Alt sammen med det formål at give eleverne en ballast til at kunne deltage aktivt og vidende i den aktuelle klimadebat, der med garanti ikke stopper med topmødet i december.

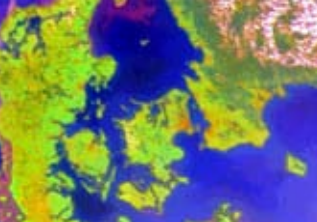
*Bjarke Lindemann Jepsen,
Dansk Naturvidenskabsformidling.*

Faktaboks: Hvad kan du på klimaundervisning.dk?

- lave fag- og emnebaserede søgninger
- udveksle erfaringer og forløb lærer-til-lærer
- tilmelde dig klimaundervisningskonferencer
- gå på opdagelse i klimakalenderen

Klimaundervisning.dk er en verden af muligheder, og helt klart det oplagte sted at begynde sin søgning efter nye læremidler, spændende konferencer eller gode erfaringer. Alt er samlet ét sted.

KLIMA UNDERVISNING.DK



Fra formanden

I løbet af det kommende år vil de to foreninger, 'Geografilærerforeningen for gymnasiet og HF' og 'Geografforbundet', stille og roligt blive mere selvstændige enheder igen. Samarbejdet omkring tiltag til fremme af geografien og samarbejdet omkring de regionale arrangementer vil fortsætte til glæde for alle parter.

Netop på grund af en kommende opdeling har alle medlemmer af Geografilærerforeningen for gymnasiet og Hf i løbet af juli modtaget et nummer af GeoNyt, hvor der var indlæg af mere foreningspolitisk art. Det vil være i GeoNyt at man finder beskrivelse af efteruddannelsesstilbud rettet mod gymnasiet, nyt fra fagkonsulenten, debat om geografi og naturgeografi i gymnasiet og HF, anmeldelser af bøger til gymnasialt niveau, vejledninger til eksperimentelt arbejde samt omtale af kurser, møder og workshops. GeoNyt kan derfor ses som et supplement til Geografisk Orientering.

I skrivende stund er forberedelserne til generalforsamlingen i gang, og tilmeldingerne til den eksperimentelle workshop løber ind. Det er glædeligt at så mange har lyst til at deltage i foreningens arrangementer, hvor vi udveksler ideer og erfaringer.

I indeværende skoleår er det første gang, at Danmark deltager i Geografi Olympiaden. Sidst i efteråret vil der blive udsendt materiale om olympiaden og når det nye år skydes ind går også startskuddet til den nationale konkurrences første trin. Senere i løbet af foråret følger anden udvælgelsesrunde. De 4 elever, der klarer sig bedst, bliver Danmarks repræsentanter ved den internationale konkurrence, som afholdes i Taiwan.

*Birgit Sandermann Justesen
September 2009.*

Undervisningsministeriet og Geografi i Ungdomsuddannelserne

Fagkonsulent Lars Andersen
Undervisningsministeriet
Afdelingen for gymnasiale uddannelser
Indholdskontoret
Frederiksholms Kanal 26
1220 København K.

Tlf.: 3392 5000, Direkte Tlf.: 2074 5839
Fax: 3392 5666, E-mail: Lars.Andersen@uvm.dk

GEOGRAFILÆRERFORENINGENS BESTYRELSE

2009

Birgit Sandermann Justesen

Kollelevbakken 4,
2830 Virum
86659036
Birgitjustesen@gmail.com
*Formand, fagligt forum for nv,
PS-suppleant*

Dominique Otoul

Dybbølsgade 25 1 tv
1721 København V
33244548
do@detfri.dk
*Næstformand, fagligt forum for
geografi, PS*

Anders Teglgård Kjær

Højslevgårdsvej 5
7840 Højslev
97523599
ak@morsoe-gym.dk
Kasserer

Dorte Nørregaard Madsen

Rugmarksvej 14
5800 Nyborg
62615214
nyhavevej@hotmail.com
Sekretær, Forlagsbestyrelsen

Allan Andreasen Kortnum

Nonbo Krat 50, Hald Ege
8800 Viborg
86623060
aa@vibkat.dk
Eksperimenter på Emu'en

Niels Bauer

Friggsvej 10 3 tv
7000 Fredericia
22355774
nbauer@get2net.dk

Hanne Döcker

Linderupvej 13
3600 Frederikssund
47312331
hanne.doeker@skolekom.dk
Regionale kontakter

*Følg nyheder m.m. på:
"http://www.emu.dk/gym/fag/
ge/index.html"*

REVIDERET OG UDVIDET

Nye aktuelle afsnit, figurer og tabeller

Naturgeografi C – 2. udgave indeholder nye aktuelle afsnit, figurer og tabeller i forhold til 1. udgave.

Naturgeografi C er en grundbog, der i 7 kapitler fokuserer på naturgeografiske processer og konsekvenserne af disse.

Materialet henvender sig primært til gymnasieelever, der følger naturgeografi på C-niveau, men store dele af bogen kan også benyttes på B-niveau.

- Geologi
- Klimatologi
- Hydrologi
- Geomorfologi
- Energi
- Produktion, teknologi og naturgrundlag
- Kartografi

240,-
ekskl. moms



Af Tomas Westh Nørrekjær, Niels Vinther og Pernille Ladegaard-Pedersen
155 sider, Illustreret, Indbundet

L&R
UDDANNELSE

EGMONT

Læs mere på lru.dk



Nødvendighedens økonomi – om økologi og økonomi, omstilling og bæredygtig udvikling

Herman E. Daly. Hovedland, 2009. 333 sider. Pris 299 kr. **G/A**

Forfatteren kommer i denne bog med et bud på, hvad der skal ske med økonomien i verden, for at vi ikke opbruger alle Jordens resurser uden at der kommer nye til.

Forfatteren skelner mellem to slags økonomer, de neoklassiske og de økologiske økonomer. De neoklassiske mener, at vi bare skal blive ved med at forbruge som vi gør nu for at skabe velstand i de fattige lande i verden. I modsætning hertil mener de økologiske, at den nordlige del af verden, hvor den største velstand findes, skal nedsætte forbruget, mens den sydlige del skal begrænse produktionen af børn. De neoklassiske mener også, at naturens resurser ikke har nogen værdi, før vi begynder at arbejde dem, mens de økologiske mener, at der kan sættes en pris på alt, lige fra Solens lys over temperatur og til den enkelte fisk i havet.

Bogen henvender sig til gymnasiet og HF samt undervisning på seminarniveau. Uden baggrundsviden inden for økonomiområdet bliver bogen svær at læse, da der benyttes mange fagtermer i bogen.

Kim Errebo



Når børn slås for alvor – regler og konsekvenser for børnesoldater

Dansk Røde Kors, 2009. 12 sider ill. Gratis - dog skal der betales porto og ekspeditionsgebyr. **F**

Hæftet er skrevet for at bringe fokus på børnesoldater og hvilke regler der er for dem. I år er det 60-året for Genève-konventionen, med regler der skal beskytte mennesker mod overgreb, alle verdens lande anerkender disse regler.

I hæftet er der små udpluk af de oplevelser nogle børnesoldater har haft, samt hvordan de er blevet hvervet/truet til at melde sig. Hæftet kommer også ind på loven om børnesoldater, at der er forskellige aldersgrænser for hvornår man er barn. Vi hører også om hvor stort problemet er og hvor der er flest børnesoldater. Sidst i hæftet kommer der et bud på hvad der skal ske i de lande der har problemet med børnesoldater, for at de kan få et godt liv og ikke skal tvinges ud i livet som børnesoldat.

Materialet er velegnet til undervisningen i 8-10 klasse i Geografi og samfundsfag. Materialet kan suppleres med den prisbelønnede film om børnesoldater "Johnny Mad Dog", hvor Røde Kors i samarbejde med Det Danske Filminstitut har lavet et undervisningsmateriale til filmen.

Kim Errebo



act KLIMA

Dansk Røde Kors, 2009. 39 sider, ill. i farver. Gratis ekskl. Porto. **F**

act KLIMA er det tredje nummer i Dansk Røde Kors' serie af undervisningsmaterialer om udviklingsarbejde. Det består af et temahæfte med tilhørende lærervejledning/kopihæfte og henvender sig til folkeskolens mellemtrin. act KLIMA kan anvendes tværfagligt i bl.a. dansk, matematik og natur/teknik.

Elevhæftets gennemgående tema er klimaets og klimaforandringerne konsekvenser for børn i Nepal. Det er opbygget med korte artikler og spots. Hæftet fremstår flot med mange farverige illustrationer. Artiklerne indeholder megen faktuel viden, er korte og præcise og rammer målgruppen godt. De taler børnenes sprog uden at gå på kompromis med fagligheden fx i dette interview "med" monsunen: "Hvor hænger du mest ud? Jeg slår til ved kysterne tæt på Ækvator, især i Asien: Kina, Nepal, Indien, you name it. Her kan jeg nemlig få dejlig varm fugtig luft fra havet, som jeg blæser ind mod bjergene."

Hæftet sammenligner nepalesiske og danske forhold, hvilket sætter klimaets konsekvenser i perspektiv for eleverne. De tilhørende kopiark supplerer hæftets artikler fint, men er desværre ikke så indbydende og kreative.

Generelt synes vi, at act KLIMA er et rigtig godt materiale, som vil kunne bruges i mange undervisningssituationer.

Anders Bruum og Lise Jørgensen



Danske Tropekolonier

Peter Bejder. Geografforlaget, 2009. 25 sider, ill. i farver. Pris 100 kr./medlemmer 80 kr. (Kend dit land). **F**

Bogen er en ny titel i serien "Kend dit land", der handler om forskellige dele af Danmark. Denne bog adskiller sig fra de andre bøger i serien ved at have et overvejende historisk fokus. Bogen handler om Danmarks tidligere kolonier i Vestindien, Indien og Afrika.

Bogen forklarer, hvorfor Danmark ville have kolonier og hvordan de blev det. De forskellige områders historie er godt beskrevet med en rød tråd til nutiden. Bogen er rigt illustreret med kort og fotografier, der supplerer teksten rigtig godt. Bogen er velegnet til faglig læsning i 2.-5. klasse, men kan også bruges i historieundervisningen.

På hjemmesiden www.geografforlaget.dk/undervejs/kendditland/ kan man gratis downloade lærervejledning og opgaver til alle titlerne i serien. Opgaverne er udarbejdet således at halvdelen er kontrollerende og den anden halvdel bevæger sig længere ud over teksten og er for de mere sikre læsere.

Lene Hansen



Hvad sker der, hvis vi ikke gør noget? - AIDS og andre smitsomme sygdomme

Carol Ballard. Flachs, 2009. 48 sider, ill. i farver. Pris 218 kr. **F**

Hvad sker der, hvis vi ikke gør noget? - Fossile brændstoffer

Jacqueline Gorman Laks. Flachs, 2009. 48 sider, ill. i farver. Pris 218 kr. **F**

Hvad sker der, hvis vi ikke gør noget? - Overbefolkning

Ewan Mcleish. Flachs, 2009. 48 sider, ill. i farver. Pris 218 kr. **F**

Alle tre bøger indgår i serien *Hvad sker der, hvis vi ikke gør noget?* Bøgerne hver især omhandler hver deres tema.

Fælles for seriens opbygning er, at hvert kapitel indledes med en fortælling anno 2025. Ligeledes afsluttes hvert kapitel med en debatboks, hvor eleverne skal agere aktører og forsøge at udrede problematikker forbundet med det enkelte tema.

Serien henvender sig til brug i folkeskolens ældste klasser og giver gode muligheder for debat. Bøgerne kan endvidere med fordel inddrages som en tværfaglig grundbog til brug mellem samfundsfag, geografi og til dels biologi.

AIDS og andre smitsomme sygdomme består af 9 kapitler. Det første kapitel bruges på at beskrive, hvad en epidemi er, hvilket giver læseren en god basis til at forstå omfanget af de forskellige sygdomme. Øvrige kapitler omhandler flere af tidens store



pandemier som fx AIDS, SARS og influenza. Et af fremtidsscenarierne inden for dette tema er fx udviklingen i forbindelse med resistente bakterier. Eleverne skal afslutningsvis tage beslutninger om, hvordan disse sygdomme kan forhindres. Flere af billederne tilknyttet dette tema er flotte mikroskopiske forstørrelser af celler fx HIV-inficerede celler.

Fossile brændstoffer er opbygget i 7 kapitler. Konsekvenserne af brugen af de fossile brændstoffer bliver gjort levende gennem en fiktiv persons oplevelser. Det er med til at gøre bogen spændende at arbejde med. Bogens kapitler omhandler mange områder, helt fra hvad et fossilt brændstof er til hvilke konsekvenser brugen af disse har for vores klima. Kapitlerne er velillustreret med både billeder og figurer, der belyser flere af de problemstillinger som bogen tager op. Det er med til at understøtte teksten på en rigtig god måde således, at overskueligheden bliver bevaret.

Overbefolkning består af 6 kapitler. Kapitlerne arbejder sig gennem emnet, hvor udgangspunktet er et scenarium om en verden med overbefolkningsproblematikker inklusiv de konsekvenser det har for verden. Tekst suppleres af flere geografiske figurer, som er med til at skabe overblik over dette komplekse tema. Fx bliver både den demografiske transaktionsmodel og befolkningspyramider brugt som værktøjer til belysning af emnet.

Christian Lauridsen



Irland – Verden i Fokus

Rob Bowden & Ronan Foley.
Forlaget Flachs, 2009. 64 side, ill.
i farver. Pris 228 kr. (del af serie) **F**

Rusland – Verden i Fokus

Rob Bowden & Galya Ransome.
Forlaget Flachs, 2009. 64 sider, ill.
i farver. Pris 228 kr. (del af serie) **F**

Verden i Fokus er navnet på en serie bøger fra Forlaget Flachs her med Irland og Rusland i fokus. Bøgerne er bygget op på samme måde med 14 kapitler, først en intro og dernæst en række overskrifter, hvor læseren kan få et godt overblik over det enkelte lands historie og kultur, landefakta, globale forbindelser, miljø og miljøbeskyttelse samt fremtidens udfordringer. Derefter følger en tidslinje og en ordliste, samt flere oplysninger og stikord.

Bøgerne er rigt illustreret med farvefotos, kort, tabeller og grafer. Siderne er, på trods af informationsmængden i form af diverse faktabokse, nemme at navigere i, også for ikke så sikre læsere. Der er tydelige kildehenvisninger, så læseren selv kan tjekke eller sammenligne med andre kilder, hvis man gerne vil have et alternativ til CIA World Fact Book.

Det er altid vanskeligt at oversætte bøger til andre sprog og desværre er sproget nogle steder blevet lidt kluntet. Det betyder dog ikke at bøgerne ikke kan anbefales. Målgruppen er elever i overbygningen, her tænkes især på inddragelse i fagene geografi og samfundsfag. Indholdet er op-

dateret, og bøgerne er overskuelige og grundige, og sidst men ikke mindst er de appetitvækkende - rejselysten vækkes.

Jytte Pedersen



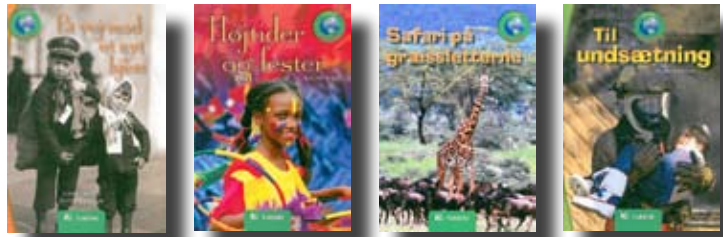
Kampen om energien – Danmarkshistoriens største fusionsdrama

Maj Dang Trong og Jørn Limann.
Lindhardt og Ringhof Forlag A/S,
2009. 280 sider. Pris 300 kr. **G/A**

Kampen om energien beskriver 10-15 års dramatiske omvæltninger i den danske energisektor. Bogen skaber et historisk overblik over energisektorens udvikling fra andelsselskaber i Jylland og kommunalt ejede selskaber på Sjælland til statsejet monopol-lignende energimastodont med internationale ambitioner.

EF's liberalisering af energimarkedet i 1991 med efterfølgende værdisætning af de danske energiforsyningsvirksomheder blev startskuddet til intense kampe om ejerskabet og strukturen på Danmarks energiforsyning. Bogen beskriver levende interessenternes forsøg på virksomheds-overtagelser vha. aktieopkøb både fra danske og udenlandske el-selskaber, interne kampe om magten i energiselskaberne, erfaringer med erobring af markedsandele i udlandet og skiftende ministres forsøg på at påvirke liberaliseringen af energimarkedet.

Bogen er opbygget kronologisk og beskriver de enkelte interesse-senter systematisk. Hvert kapitel afsluttes med et kort resume, som skaber et godt overblik. Forfatterne benytter sig af mange gode kilder som refereres troværdigt og uden skelen til det politisk korrekte. Det er tvivlsomt om det er muligt at skrive en mere under-



holdende og stadig saglig bog om et emne som den danske energisektor.

Kampen om energien er spændende læsning og egner sig til samfundsfag/historieundervisning på gymnasieniveau og til personer med særlig interesse for politik, energi og historie.

Hans M. Christensen

På vej mod et nyt hjem, Højtider og fester, Safari på græssletterne, Til undsætning

Avelyn Davidson, Lynette Evans, Sara Irvine, Susan Broker. Turbineforlaget, 2008. 30 sider ill. i farver med hårdt omslag. Pris 99 kr./stk. Oversat fra engelsk. (Viden om verden – med nu 16 udkomne titler. www.videnomverden.dk) F

Bøgerne er skrevet til selvstændig læsning i 3-4 kl. og er velegnede til faglig læsning i fagene natur/teknik og dansk. Bøgerne er bygget op om et skelet som består af indholdsfortegnelse, læs om (hurtig inspiration), kapitler, ordliste, register og diskussion i klassen.

Læs om introducerer emner og forskellige tematiske arbejdsmetoder fx byg et ord, min dagbog osv. Kapitlerne er korte og illustreret med gode billeder og faktabokse. Svære ord er fremhævet med fed og henviser derved til ordliste. Kapitlerne er opbygget meget varieret med små temaer eller events, som gør at hvert kapitel virker anderledes og inspirerende. Billedmaterialet supplerer tekstdelen godt og veksler mellem billeder, tegninger, malerier, tværsnit, kort og tegneserier. Ordlisten samler nye begreber og kan bruges til evaluering og opfølgning på bogens centrale begreber. Registret giver eleverne mulighed for at søge viden om enkelte emner som bearbejdes flere steder i bogen. Diskussion i klassen samler

klassens viden om emnet og lægger op til, ved hjælp af diskussion, at hæve klassens samlede udbytte.

Den tilhørende hjemmeside er let tilgængelig og overskues nemt. Bøgenes emner tages op igen, men fra nye vinkler og supplerende fagligt stof tilbydes. Teksterne på hjemmesiden kan læses op med CD-ord 5, så også læsesvage elever kan deltage i undervisning bygget op omkring bøgerne fra serien.

Bøgerne kan anbefales fordi de stimulerer elevernes læselyst og fordi de fremfører faglig læsning på en farverig, inspirerende og anderledes måde.

Hans M. Christensen



POST

B

PP

DANMARK

Magasinpost

Afs.: Geografforbundets Sekretariat · Filosofgangen 24 · 5000 Odense C – Returneres ved varig adresseændring

