

# Klimaforskernes krystalkugle

*Troværdige forudsigelser af fremtidens klima afhænger af, om forskerne kan konstruere klimamodeller, der på overbevisende måde kan simulere fortidens og nutidens klima.*

Af Bo Christiansen

■ Vejr og klima er to sider af samme sag, da klima kan defineres som gennemsnittet af vejret over lang tid. At beskrive vejret i et givet punkt i atmosfæren er ret enkelt – det kræver nemlig kun kendskab til parametrene temperatur, tryk, luftfugtighed samt vindretningen. Derimod er det betydeligt sværere at *forudsige* vejret. På trods af, at der gennem tiden er udfoldet store bestræbelser på at lave præcise vejrprognoser, og at man i dag har utallige data fra målestationer og enorm regnekraft til rådighed, er det ikke muligt at lave pålidelige vejrudsigter, der

rækker meget mere end en uge frem i tiden.

At forudsige klimaets udvikling adskiller sig principielt ikke fra arbejdet med de daglige

vejrudsigter. Når man taler om klimaforudsigelser er det selvfølgelig ikke vejret på et bestemt tidspunkt i fremtiden, man er interesseret i at forudsige, men

netop statistiske størrelser som det gennemsnitlige vejr og variationer omkring dette gennemsnit. Uanset om man ønsker at forudsige vejret en af de nærme-



Foto: EUMETSAT, Meteosat-8.

ste dage eller klimaet om 100 år er kernen i dette arbejde viden om atmosfærens og oceanernes strømninger. Denne viden udmøntes i modeller, der simulerer disse strømninger. Klimamodellerne er således vigtige for forskernes tolkninger af den fremtidige klimaudvikling og udgør derfor også det tekniske udgangspunkt for den mere politiske klimadebat. Kort sagt er det afgørende vigtigt, at disse klimamodeller er så gode som muligt, og der arbejdes til stadighed på at forbedre modellerne.

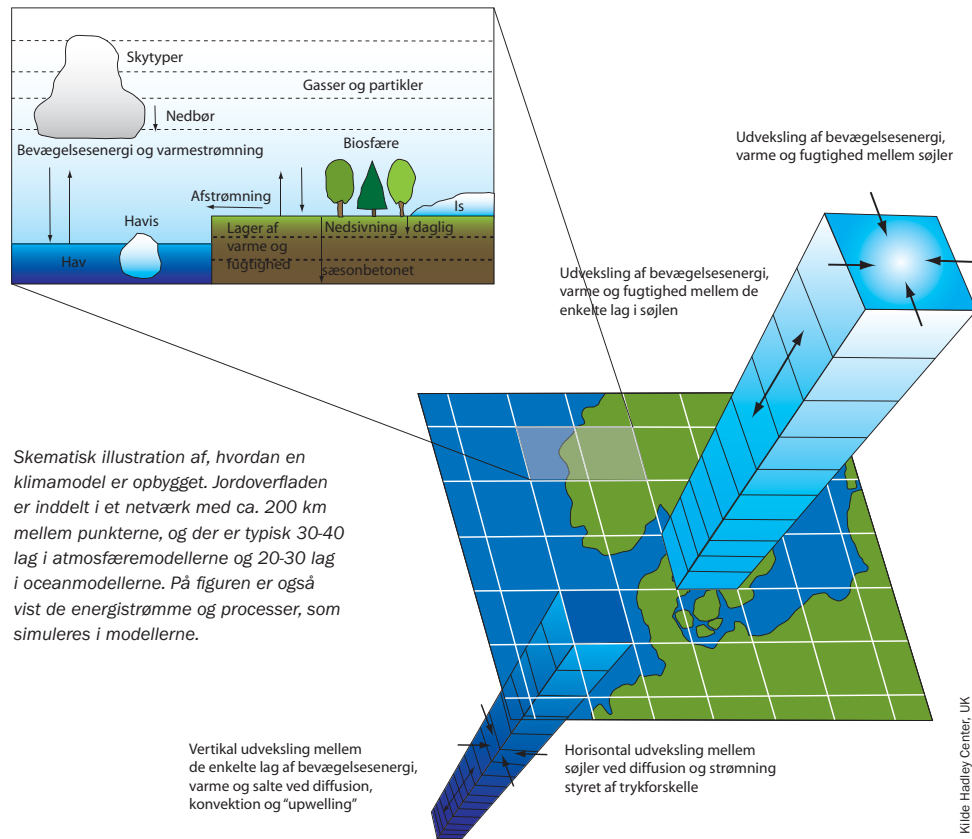
### Klimamodeller

Grundstammen i en klimamodel er fysikkens love, som bruges til at give en matematisk beskrivelse af klimasystemets forskellige dele – dvs. atmosfære, oceaner, biosfære, is og sne samt den faste jord.

Man kan sige, at modellerne tjener to formål. På den ene side prøver forskerne på at reducere klimaets komplekse opførsel til et sæt af matematiske ligninger i det håb, at de dermed kan få en form for aha-oplevelse af, hvordan de klimatiske processer foregår. Altså er der en rent erkendelsesmæssig dimension i arbejdet med klimamodeller – hvilket især gælder for de relativt simple modeller. I de meget komplekse klimamodeller (også kaldet generelle cirkulationsmodeller) er formålet nærmere at simulere det totale klimasystem – dvs. indgående og udgående stråling, luftens bevægelse, skydannelse og nedbør, iskapperens vækst og tilbagemelting mv. – også selvom tingene dermed bliver så komplicerede, at man ikke altid fuldt kan forstå, hvad der foregår. Ligningerne tilpasses så – inden for rimelige grænser – således, at modellen så godt som muligt kan gengive fortidens og nutidens klima som vi kender det fra faktiske observationer. Derefter kan modellerne bruges til at forudsige, hvordan klimaet vil udvikle sig i fremtiden.

Et principielt problem når forskerne skal vurdere kvaliteten af klimamodeller er, at de ikke som med vejrforudsigel-

### Klimamodeller og fysikkens love



Udgangspunktet for klimaforskeren er, at atmosfæren er et fysisk system hvis udvikling er bestemt af fysikkens love, og at disse love kan udtrykkes kvantitativt som matematiske ligninger.

Kender vi atmosfærens tilstand i dag kan vi ved hjælp af ligningerne beregne tilstanden i fremtiden. På grund af den iboende kaotiske natur af klimasystemet og de ligninger der beskriver det vil beregningerne for fremtiden blive mere og mere unøjagtige. Medens dette er et væsentlig problem for vejrforudsigelser er problemet mindre for klimaforskeren, der kun er interesseret i gennemsnittet af vejret over en længere periode og ikke vejret end bestemt dag. Dette gennemsnit, som vi kalder *klimaet*, er i det væsentligste bestemt ved randbetingelser som CO<sub>2</sub> indholdet i atmosfæren og solens udstråling.

ses-modeller systematisk kan producere forudsigelser, som senere sammenlignes med virkeligheden. I stedet testes klimamodeller ved at undersøge,

De vigtigste fysiske love som indgår i klimamodeller er:

- Bevægelsesligninger (Navier-Stokes ligninger) baseret på Newtons love.
  - Masse- og energibevarelse.
  - Tilstandsligningen for ideale gasser.
  - Strålingsligninger, der beskriver, hvordan sol- og varmestråling forplanter sig og afsættes i atmosfæren.
- Udover disse love, som er baseret på strikte fysiske principper, indeholder modellerne også empiriske love, dvs. sammenhænge, som er baseret hovedsageligt på observationer, og som ikke nødvendigvis har en sikker teoretisk forankring. Sådanne empiriske love omhandler ofte processer, der foregår på tid- og rumskalaer, som ikke er opløst i modellerne. De empiriske love indeholder ofte parametre, som bestemmes ved "tuning" – dvs. man prøver sig frem, indtil

hvor gode de er til at beskrive det nuværende klima og klimaudviklingen gennem det 20. århundrede. De bedste modeller er i dag i stand til at reproducere

modellen opfører sig fornuftigt. Et eksempel er skydannelse.

Skyers livscyklus kan dårligt modelleres i klimamodeller. Skyer dannes og forsvinder i modeller ofte afhængig af størrelsen af den relative luftfugtighed.

Et andet eksempel er *gravitationsbølger*, som opstår når en luftmasse, der før var i ligevægt med omgivelserne, bevæges vertikalt til et område med en anden densitet, så vil tyngdekraften trække luftmassen tilbage mod udgangspunktet. Dette resulterer i en svingning omkring ligevægtstilstanden. Disse bølger har afgørende betydning for den mellemste atmosfæres udvikling, men har en bølge-længde, der er meget mindre end modellernes opløsning. Derfor er dannelsen og udbredelsen af sådanne bølger beskrevet ved simple ligninger baseret på en blanding af observationer og teoretiske overvejelser.

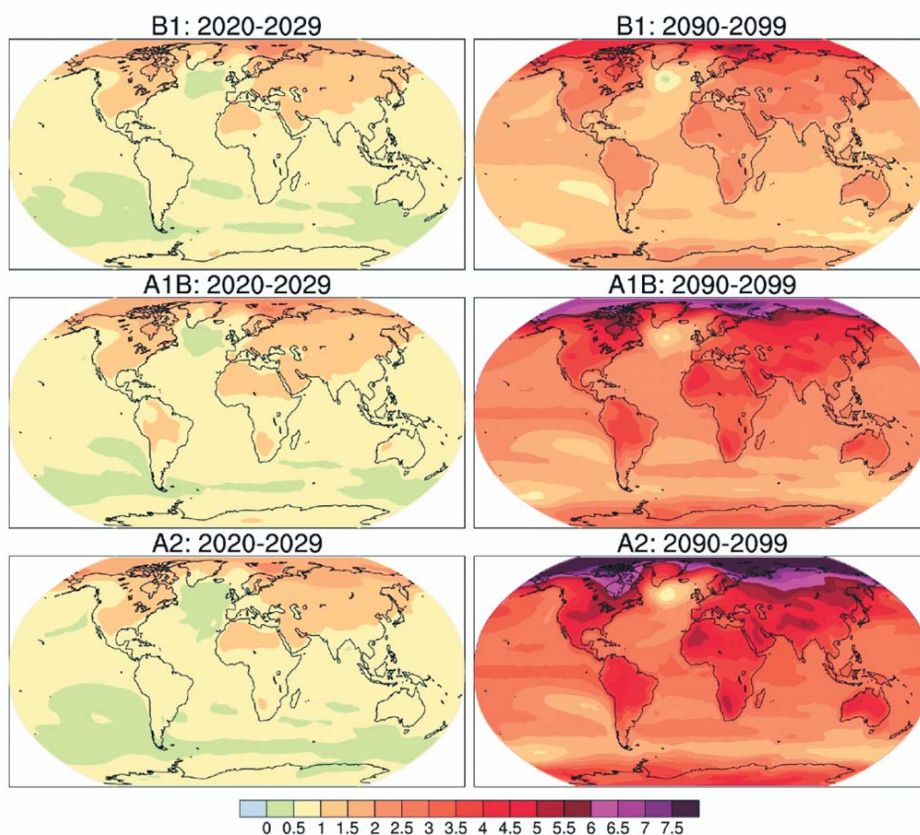
udviklingen i den globale temperatur de sidste 100 år. Desuden er de i stand til at simulere væsentlige egenskaber ved det nuværende klima, bl.a. de geo-





Foto: Peter Bondo

Hvor meget is vil smelte? Det er et af de mange spørgsmål, der søges besvaret ved hjælp af klimamodeller.



Kilde: IPCC

## IPCC-scenarier

De farvede kort viser temperaturudviklingen for Jordens overflade ved en række fremtidsscenarier for udslip af drivhusgasser. Kortene repræsenterer et gennemsnit af beregninger for forskellige atmosfære-ocean-klimamodeller. De mest optimistiske scenarier (A1-scenarierne) bygger på et fremtidsbillede karakteriseret ved høj økonomisk vækst, lav befolkningsvækst og hurtig introduktion af effektive teknologier, der medfører lavt drivhusgasudslip.

grafiske variationer på stor skala. Modellerne kan også reproducere afkølingen efter store vulkanudbrud.

I forhold til den fremtidige klimaudvikling anvender man i den internationale klimaforskning modellerne til at vurdere de klimatiske konsekvenser af udefrakommende påvirkninger. Påvirkningerne kan både have naturlige årsager – f.eks. ændringer i Solens udstråling – eller de kan være menneskeskabte i form af en øget udledning af drivhusgasser eller en ændring i jordoverfladens beskaffenhed som følge af skovhugst mv.

Sådanne konsekvensvurderinger er en meget vanskelig opgave, da klimamodellerne langt fra er detaljerede nok til at beskrive alle elementer i den virkelige verden. Modellernes største svagheder i dag er, at de har problemer med skyer og det hydrologiske kredsløb, og de fleste modeller har mangler i deres simulering af den mellemste atmosfære.

### Klimamodellers opbygning

En klimamodel er i princip opbygget som de atmosfæremodeller, der benyttes som grundlag for vejrforudsigelser. I en klimamodelberegning starter man således også fra et givet sæt af begyndelsesbetingelser og foretager så en beregning frem i tiden med små tidskridt på 2 til 30 minutter, afhængigt af modellen. I en vejrprognosemodel beregnes vejret normalt op til 10 dage frem, mens man i klimamodellen regner mange år frem. Da klimaforskeren er interesseret i gennemsnitsværdier betyder dette, at klimaberegningen ikke er afhængig af begyndelsesbetingelserne, men udelukkende af de såkaldte *randbetingelser* som f.eks. atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold, vulkaner og jordoverfladens beskaffenhed.

En klimamodel kan enten være rent atmosfærisk eller en koblet atmosfære-oceanmodel. Klimamodeller indeholder ligesom vejrprognosemodeller beskrivelser af forholdene på jorden og i de øverste jordlag, hvor de vigtigste grundlæggende

variable er temperatur, fugtighed og snedække. Der indgår en lang række parametre i klimamodeller, som beskriver overfladens beskaffenhed, som f.eks. vegetationstyper og jordbundsforhold.

Som for vejrprognosemodeller er klimamodellens variable organiseret i et gitternet, der bestemmer den rumlige opløsning, hvormed forholdene kan beskrives i modellen. Både for globale atmosfæremodeller og oceanmodeller er afstanden mellem beregningspunkterne typisk et par hundrede kilometer i vandret retning, og vertikalt er der i atmosfæremodeller 30-40 lag og i oceanmodeller 20-30 lag.

Betydningen af processer, der foregår på rumlige skalaer, som er finere end modellens gitter, må beregnes ud fra de grundlæggende variable. Det gælder om at medtage disse såkaldte parameteriserede processer så nøjagtigt som muligt, så deres samlede indvirkning på de grundlæggende variable i gitternettet er bedst muligt beskrevet. Som vigtige eksempler på parameteriserede processer i atmosfæren kan nævnes stråling, sky- og nedbørdannelse samt

processer på og i jorden. Det er fundamentalt, at disse processer i så høj grad som muligt søges beskrevet ud fra fysiske love og i mindst muligt omfang ud fra erfaringsbestemte (empiriske) sammenhænge, ellers kan man ikke være sikker på, at beskrivelsen også vil være gyldig, når klimaet ændrer sig. Forskellene imellem de forskellige klimamodeller, der benyttes i dag, ligger først og fremmest i beskrivelsen af de parameteriserede processer.

### Hvad forudsiger modellerne?

I rapporten fra det internationale klimapanel (IPCC), der udkom tidligere på året, vurderes den fremtidige klimaudvikling på basis af en række scenarier for udslip af drivhusgasser. For de kommende to årtier viser klimamodellerne en temperaturstigning på 0,2 °C pr. tiår for alle IPCC's scenarier, hvor der ikke er regnet med politiske indgreb mod udslip.

Hvis man derimod forestiller sig, at koncentrationerne af drivhusgasser og partikler (aerosoler) var fastholdt konstant på 2000-niveauet (hvilket dog er forpasset), ville stigningen blive

reduceret til 0,1 °C pr. tiår.

Klimaudviklingen senere i århundredet vil i stigende grad være afhængig af de globale udslip af drivhusgasser. Udledning af drivhusgasser med det nuværende eller højere hastighed vil medføre yderligere opvarmning. Den sandsynlige temperaturstigning ligger i de forskellige udslipsscenarioer et sted mellem 1,1°C og 6,4°C ved udgangen af det 21. århundrede. En sådan temperaturstigning kan føre til mange ændringer i det globale klimasystem – ændringer som sandsynligvis bliver større end dem, vi har set i det 20. århundrede.

Selvom det lykkedes at stabilisere udledningen af drivhusgasser, betyder tidsskalaerne i klimaprocesserne og de forskellige tilbagekoblingseffekter, at den menneskeskabte opvarmning og havniveau-stigninger vil fortsætte i århundreder. Selv ved de lave udslipsscenarioer peger klimamodellerne på en yderligere opvarmning på ca. 0,5 efter år 2100 og på globale vandstandsstigninger på grund af vandets varmeudvidelse på 0,3-0,8 meter i 2100 og langsommere stigninger derefter. ■

Om forfatterne:



Bo Christiansen er ph.d. samt klimaforsker ved Danmarks Meteorologiske Institut  
E-mail: boc@dmi.dk  
Tlf.: 3915 7429

Flere oplysninger:

[www.dmi.dk](http://www.dmi.dk)  
[climateprediction.net](http://climateprediction.net)  
[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)  
[www.noaa.gov/climate.html](http://www.noaa.gov/climate.html)  
[www.drivhus.dk](http://www.drivhus.dk)

# Spam i Herrens navn

■ Det er altid dejligt at få gaver. Men de seks eksemplarer af *Atlas of Creation*, som nogen har været så venlige at betænke redaktionen på Aktuel Naturvidenskab med, er nu alligevel en tand for meget af det gode. Med en stykvægt på 6,5 kg, snakker vi altså om små 40 kg papir, vi stakels redaktører har måttet slæbe rundt på.

Kampagnen er 2.bølge af kreationistisk spam, idet der tidligere på året ligeledes blev sendt et stort antal af samme bog (1. oplag) rundt til universitetsfolk – ikke bare i Danmark men hele verden. Bag det visuelt appetitlige monsterværk på mere end 800 glittede sider, og med en overflod af smukke fotos (som

ifølge oplysninger på Wikipedia i vidt omfang er gengivet uden tilladelse fra rettighedshaverne), står den tyrkiske forfatter Adnan Oktar. Under kunstnernavnet Harun Yahya har Oktar produceret en mængde bøger, videoer og DVD'er om tro og videnskab. Oktar er en af spydspidserne i den islamisk funderede kreationisme, der med henvisning til koranen afviser evolutionen, og mener at darwinistisk tankegang er roden til alt ondt, der f.eks. fører lige lukt til nazisme. I modsætning til de mest rabiate kredse inden for den kristne kreationistiske bevægelse, mener Oktar ikke, at verden kun er 7000 år gammel, men anerkender et geologisk tidsperspektiv. Det er altså

arternes foranderlighed, Oktar slet ikke kan forlige sig med, og størstedelen af bogen er således kulørte plancher med "beviser" på, at en lang række arter altid har set ud præcis som de gør i dag.

Hvad den dybere mening egentlig er med at sende bogen til en lang række fagfolk, der for langt størstedelens vedkommende vil finde bogens argumenter latterlige, vides ikke. Nyhedsmedier verden over kan således melde om forgæves forsøg på at få forfatteren i tale, og det er heller ikke lykkedes at finde ud af, hvem der egentlig er sponsoren bag den massive kampagne, der har spredt i titusindvis af bogen over hele verden.

Har vi grund til at være bekymrede over, at den kreationistiske bevægelse viser flaget på denne opsigtsvækkende måde? Tjah – i Danmark vil bogen næppe finde nogen bred anvendelse måske bortset fra at blive inddraget i undervisningen som skræmmebillede. Så flere tilhængere til den kreationistiske tankegang vil der næppe komme på den konto. Men kampagnen skal måske også opfattes som et budskab i retning af: *Tag jer i agt – vi er derude, og vi er rige og magtfulde!* Det kan man jo aldrig vide, og med den kommunikationsstrategi bagmændene hidtil har lagt for dagen, er der frit slag for rygtedannelser.

CRK ■