

Klima og CO₂: - en rigtig god hypotese?

Høje og lave skyer over det vestlige Skotland, 15.2.2008. En del af de høje skyer er dannet som kondensstriber efter fly. (Foto: Forfatteren)

Ole Humlum, Institutt for Geofag, Oslo Universitet

Nutidige klimaændringer forklares typisk som resultatet af stigende koncentration af atmosfærisk CO₂, som følge af menneskets forbrug af kul, olie og naturgas. Ikke mindst IPCC (International Panel on Climate Change) har effektivt bidraget til denne opfattelse, der i dag har bred politisk støtte og dagligt meddeles af de fleste nyhedsmedier.

Men kan vi nu være sikre på, at det faktisk er rigtigt, og at alt er klart forstået vedrørende klimaændringer? Dette spørgsmål har ikke kun akademisk interesse. Det bør være af interesse for alle, da den fremtidige samfundsøkonomi vil påvirkes af planlagte tiltag for at reducere CO₂-udledning til atmosfæren.

Alle er enige om, at klimaet i dag ændres, ligesom det i øvrigt har gjort det til alle tider. At mennesket har indflydelse på klimaet, er der heller ingen tvivl om; eksempler herpå ses i det relativt varme byklima samt i regionale klimaændringer forårsaget af ændringer i arealudnyttelse. Om vi derimod i øjeblikket gennemgribende og på potentielt farlig vis ændrer planetens klima ved udledning af CO₂, er næppe helt så sikkert.

Det er et velkendt faktum, at CO₂ absorberer varmeenergi i det infrarøde spektrum. Det er også et faktum, men måske knap så velkendt, at den teoretiske temperatureffekt af en given CO₂-ændring er størst ved lave koncentrationer af CO₂ og mindre ved højere. Effekten aftager logaritmisk med stigende koncentration.

Der er ingen tvivl om at CO₂ teoretisk og isoleret set har oppvarmende effekt, men i et komplekst system som Jordens atmosfære er

det ikke sikkert, at effekten bliver tilsvarende tydelig. Betragtes vor planets geologiske forhistorie, hvor atmosfærens CO₂-indhold tidvist har været mindst 5-10 gange større end det nuværende, er der intet, der klart viser, at CO₂ har haft stor effekt på den globale temperatur. At den globale temperatur omvendt har haft stor effekt på mængden af CO₂, er derimod veldokumenteret.

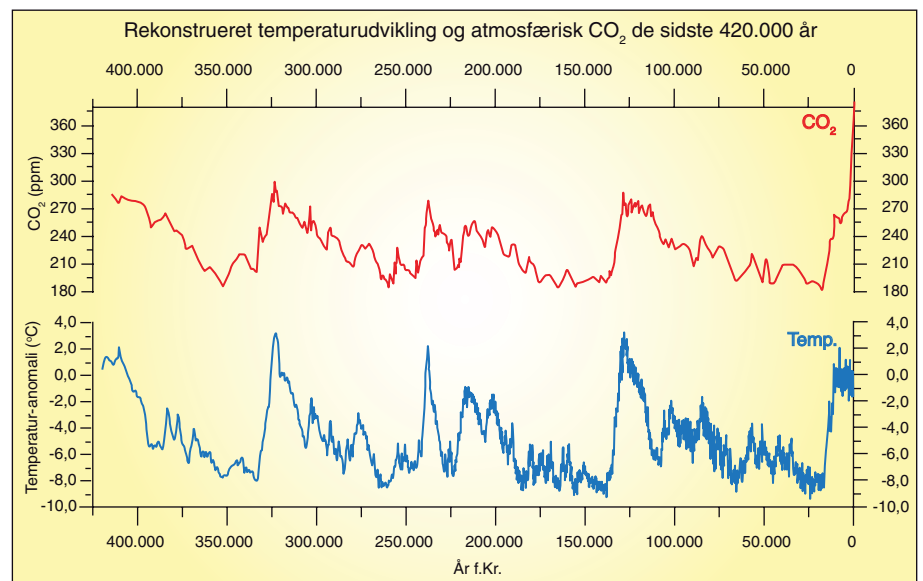
Fortidige klimaændringer og CO₂

I sin prisbelønnede film var Al Gore i sin omtale af den dybe isboring ved forskningsstationen Vostok i Antarktis desværre upræcis med hensyn til forholdet mellem CO₂ og temperatur. Ved målinger af iltisotopen ¹⁸O og mængden af CO₂ i indesluttede luftbobler kan tilvejebringes oplysning om fortidens temperaturforhold og atmosfærisk kemi mere end 400.000 år tilbage i tiden.

Den danske forsker Willy Dansgaard var i sin tid banebrydende med denne vigtige erkendelse.

Figuren nedenfor viser den rekonstruerede temperaturudvikling og atmosfærisk CO₂ de sidste 420.000 år baseret på Vostok-kernen. Temperatur og CO₂ varierer parallelt, hvilket umiddelbart synes at bekræfte CO₂'s betydning for den globale temperatur. Det var ihvertfald det budskab, som Al Gores film efterlod. Man må dog samtidig undre sig over, hvordan den høje nutidige atmosfæriske koncentration af CO₂ i så fald er forenelig med en temperatur, der er lavere end i den forrige mellemistid (Eem), omkring 125.000 år før nu? Dette paradoks blev uheldigvis ikke kommenteret i filmen.

For bedre at forstå temperatur-CO₂-relationen betaler det sig at se nærmere på de to grafer. Figuren øverst på side 5 viser i større



Temperatur- og CO₂-ændringer ifølge Vostok-borekernen, Antarktis (Petit et al. 2001). CO₂-data efter 1958 fra direkte målinger på Mauna Loa, Hawaii. (Grafik: UVH modificeret efter Petit et al. 2001 samt efter data efter 1958 fra direkte målinger på Mauna Loa, Hawaii)

skala tidsrummet 100.000 til 150.000 år, dvs. fra slutningen af forrige istid (Saale), over mellemistiden Eem, til begyndelsen af sidste istid (Weichsel). Skalaforholdet gør, at man nu kan se, at de to kurver faktisk ikke varierer helt i samme takt. Eksempelvis begynder temperaturen at stige ca. 138.000 år før nu, nogen tid inden en tilsvarende stigning ses i mængden af CO₂. Efter passage af det temperaturmæssige toppunkt for ca. 128.000 år siden begyndte temperaturen at falde, selvom mængden af CO₂ holdt sig relativt konstant helt frem til omkring 113.000 år før nu. Fra omkring 107.500 år før nu begyndte temperaturen at stige, selv om mængden af CO₂ på det tidspunkt mindskes.

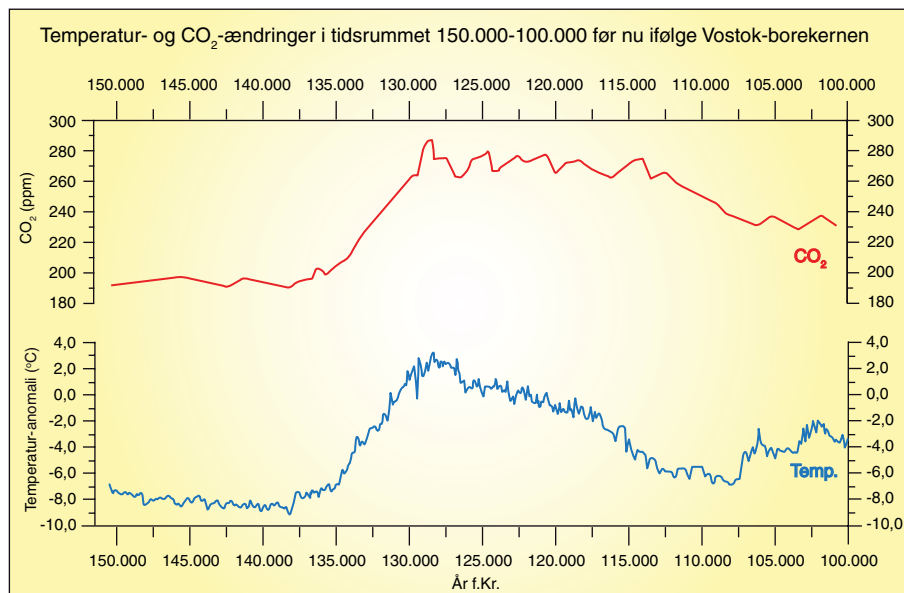
Temperaturændringerne kommer med andre ord før ændringerne i atmosfærisk CO₂. Detaljerede undersøgelser (Mudelsee 2001) viser, at ændringerne i CO₂ typisk er forsinket omkring 1.300 år i forhold til ændringerne i temperatur. Da årsag naturligvis altid kommer før virkning, kan det derfor ikke være CO₂, der har forårsaget de viste temperaturændringer i fortiden. Uheldigvis efterlod Al Gores film det helt modsatte indtryk. Det er derimod meget muligt, at temperaturen kontrollerer mængden af atmosfærisk CO₂ ved ændret opløselighed i havet, og at andre forhold end CO₂ kontrollerer temperaturen.

Koncentration af atmosfærisk CO₂ er meget lav under istiderne (ca. 200-210 ppm), hvilket er interessant. Som nævnt mindskes temperatureffekten af CO₂-ændringer med stigende koncentration, hvorfor vi med lav koncentration skulle forvente en meget klar temperaturændring som følge af CO₂-ændringer. Men iskerneerne viser det modsatte. At temperaturen ændres, inden CO₂ ændres, er i sig selv naturligvis alvorligt nok, men at vi samtidig ser eksempler, hvor temperaturen falder, mens CO₂ stiger eller omvendt, gør sagen endnu vanskeligere for CO₂-hypotesen. Andre forhold end CO₂ har åbenbart været dominerende for temperaturudviklingen.

Der er flere problemer for CO₂-hypotesen end blot disse. For at illustrere dette kan vi se på udviklingen de sidste 1.400 år. Figuren til højre nederst viser variationerne i mængden af atmosfærisk CO₂ og samtidige temperaturændringer som vist ved variationer af iltisotopen ¹⁸O fra Grønlands Indlandsis.

Her ser vi, at mængden af atmosfærisk CO₂ har ligget stabilt på 270-280 ppm i hele perioden. Kun efter 1850 er mængden af CO₂ vokset markant og repræsenterer i dag et ofte fremført argument for hypotesen om den menneskeskabte globale opvarmning.

Her har vi imidlertid identificeret et nyt problem for CO₂-hypotesen. Hvis mængden af CO₂ tidligere var stabil, hvad er da årsag til de tydelige klimaændringer, som den blå kurve viser? Eksempelvis er Middelaldervarmepærioden i Grønland meget tydelig. Ændringer i atmosfærisk CO₂ kan ikke



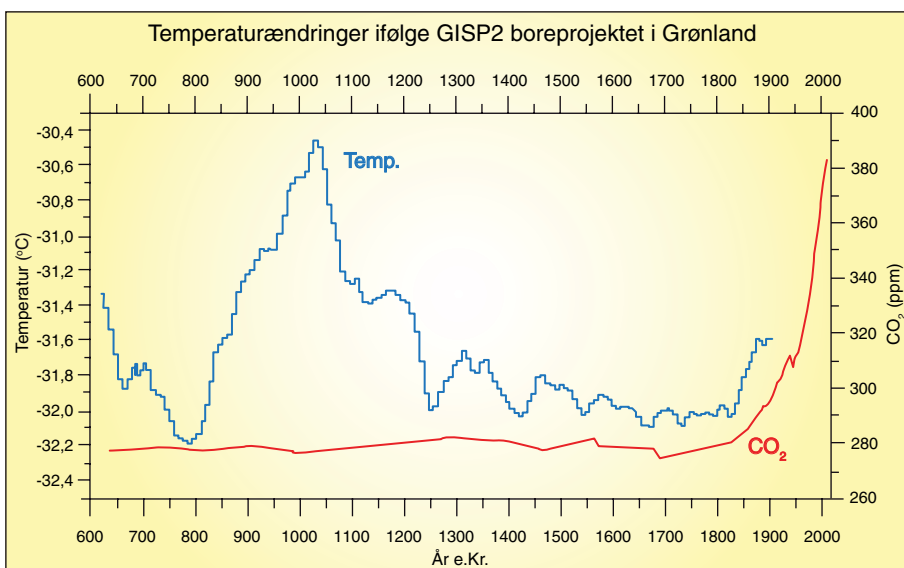
Temperatur- og CO₂-ændringer i tidsrummet 150.000-100.000 år før nu ifølge Vostok-borekernen, Antarktis (Petit et al. 2001). (Grafik: UVH modificeret efter (Petit et al. 2001))

forklare denne og andre klimaændringer, da mængden af CO₂ er stabil. Her må vi derfor igen konkludere, at klimaændringer ofte indtræder, uden at det er muligt at sætte dem i forbindelse med ændringer i CO₂. Desuden må man naturligvis spørge sig selv, hvorfor den tydelige stigning af CO₂ efter 1850 ikke kommer til udtryk i en tilsvarende kraftig temperaturstigning? Mængden af atmosfærisk CO₂ er jo lav, hvorfor CO₂-stigningen efter 1850 burde resultere i en markant temperaturændring. Desværre går de på grundlag af iltisotoper rekonstruerede temperaturer kun frem til begyndelsen af det 20. århundrede, men frem til da ser temperaturændringen ikke specielt bemærkelsesværdig ud.

Den ene tanke leder uvilkårligt til den næste: Hvordan kan det egentligt være, at

mængden af atmosfærisk CO₂ tidligere har været så stabil, som det ser ud til på figuren nedenfor? Fra figuren øverst side 5 så vi jo, at temperaturen øjensynligt var i stand til at påvirke mængden af CO₂, mest sandsynligt ved ændret opløselighed i oceanerne. Derfor kunne man forvente, at CO₂ i figuren nedenfor ville have udvist tydelige variationer i takt med de viste klimaændringer. Men det er der overraskende nok ingen tegn på.

Dette åbenlyse paradoks førte allerede i 1992 til det vigtige alternative synspunkt (Jaworowski et al. 1992), at gletscherisen ikke kan betragtes som et fuldstændigt inaktivt kemisk miljø over lange tidsrum og store trykvariationer, men at kemiske processer langsomt udjævner de oprindelige variationer i mængden af indesluttet CO₂.



Temperaturændringer ifølge GISP2 boreprojektet i Grønland (Alley 2004) og samtidige ændringer i mængden af atmosfærisk CO₂. Fra og med 1958 kommer CO₂-data fra direkte målinger på Mauna Loa, Hawaii. (Grafik: UVH modificeret efter (Alley 2004))

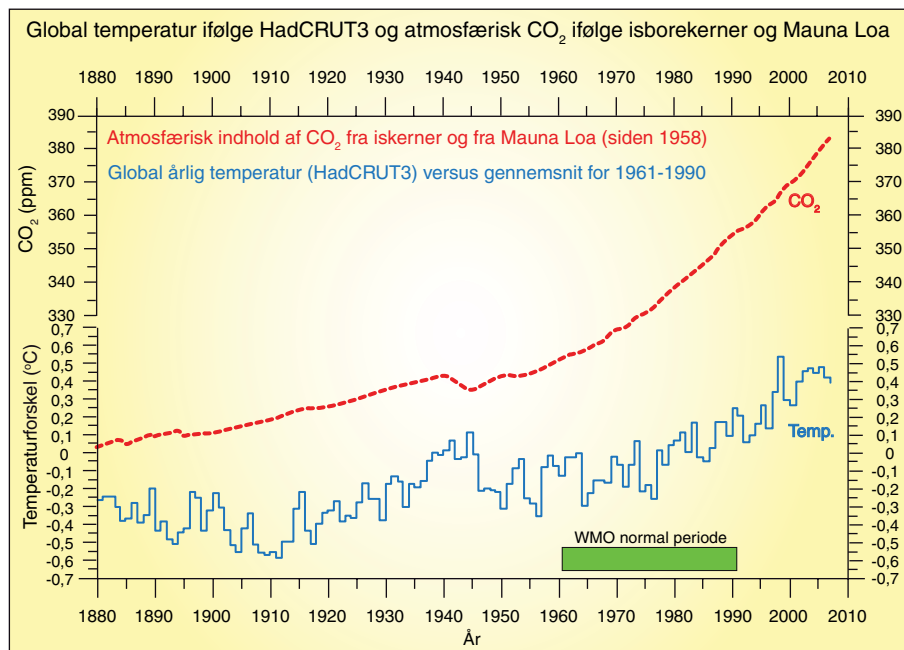
Dette kunne jo forklare den jævne CO₂-kurve frem til 1850. Men hvis dette rigtigt, og fortidens CO₂ i virkeligheden har varieret mere end som vist, så ville argumentet om den usædvanlige nutidige CO₂-stigning jo forsvinde. Og forsvandt det, så ville et af hovedargumenterne for den menneskeskapede temperaturstigning i sidste del af det 20. århundrede forsvinde.

For fuldstændighedens skyld bør det her nok nævnes, at der faktisk findes andre måder end iskerner til at rekonstruere CO₂-indholdet i fortidens atmosfære. Frekvensen af spalteåbninger (stomata) i blade er omvendt proportionalt med mængden af CO₂ i atmosfæren. Ved at studere gamle og datérbare blade fra geologiske aflejringer kan man derfor rekonstruere fortidens atmosfæriske CO₂-indhold (fx Wagner 2004 og Jessen 2007). Dette er en forholdsvis ny videnskab, der imidlertid har været i hastig udvikling de sidste 10-15 år. Det er interessant, at denne nye metode ikke giver samme resultater som iskernerne. Naturligvis er der visse lighedspunkter, men generelt viser stomata-analyserne langt større CO₂-variationer i fortiden end iskernerne. Det er dog endnu for tidligt at afgøre, hvilken metode der er den bedste. IPCC er dog ikke i tvivl: Resultaterne fra iskernerne er de rigtige. Men dermed består paradokset fortsat.

Klimaændringer i det 20. århundrede

På denne lidt modsætningsfyldte baggrund kan det måske være fornuftigt at tage et nærmere kig på forholdene i det 20. århundrede. Her har vi jo gode og detaljerede målinger af både temperatur og mængden af atmosfærisk CO₂. Figuren øverst på denne side viser variationer af den globale temperatur og atmosfærens CO₂ indhold siden 1880. Omkring 1915-1920 kommer vor planet ud af Den Lille Istid, en periode kendetegnet ved mange kølige delperioder, og som begyndte omkring år 1300. Det nøjagtige begyndelses- og sluttidspunkt varierer noget fra region til region. Efter Den Lille Istids afslutning er temperaturen steget omkring 0,8 °C. Samtidig er atmosfærens CO₂-indhold vokset støt. Umiddelbart ser sammenhængen fornuftig ud: Den globale temperatur stiger i takt med øgningen af atmosfærisk CO₂.

En nærmere inspektion afslører imidlertid endnu en gang, at der er problemer med CO₂-hypotesen. Hvad er årsag, og hvad er virkning? På den ene side er det muligt, at temperaturen stiger, fordi mængden af atmosfærisk CO₂ tiltager som forudsagt af CO₂-hypotesen. Isotopanalyser af atmosfærisk CO₂ viser imidlertid, at kun en lille del (1/5) af stigningen siden afslutningen af Den Lille Istid direkte kan tilskrives brug af kul, olie og gas. Så på den anden side er det jo muligt at hovedparten af den observerede CO₂-stigning faktisk skyldes planetens stigende temperatur. Af figuren øverst på foregående side så vi jo, at sådan har systemet



Global temperatur ifølge HadCRUT3 og atmosfærisk CO₂ ifølge isborekerner og Mauna Loa (fra og med 1958). Temperaturen er vist i forhold til gennemsnittet for WMO-normalperioden 1961-1990 (vist med grøn bjælke). (Grafik: UVH modificeret efter forlæg fra forfatteren)

fungeret tidligere, og tillige er det præcist, hvad man ville forvente med udgangspunkt i Henrys kemiske lov (se fx på wikipedia på nettet: http://en.wikipedia.org/wiki/Henry%27s_law) om CO₂'s opløselighed i vand fra 1803. Dette er jo det formelle grundlag for, at det lykkeligtvis uden stort besvær er muligt at producere CO₂-holdige drikke som cola, øl og champagne.

For at afklare denne interessante problemstilling om årsag og virkning må vi se mere detaljeret på, hvordan temperatur og CO₂ har varieret siden 1880. Straks fra begyndelsen af tidsperioden stiger mængden af atmosfærisk CO₂, angiveligt som følge af industrialiseringen. Ifølge CO₂-hypotesen skulle dette resultere i en temperaturstigning, ikke mindst da CO₂-niveauet er lavt og den teoretiske effekt af en stigning derfor stor. Overraskende nok synker temperaturen imidlertid med 0,3 °C. Forudsat at CO₂-rekonstruktionen er korrekt, kan dette kun betyde, at andre forhold end CO₂ må have været dominerende og derved trak temperaturen ned.

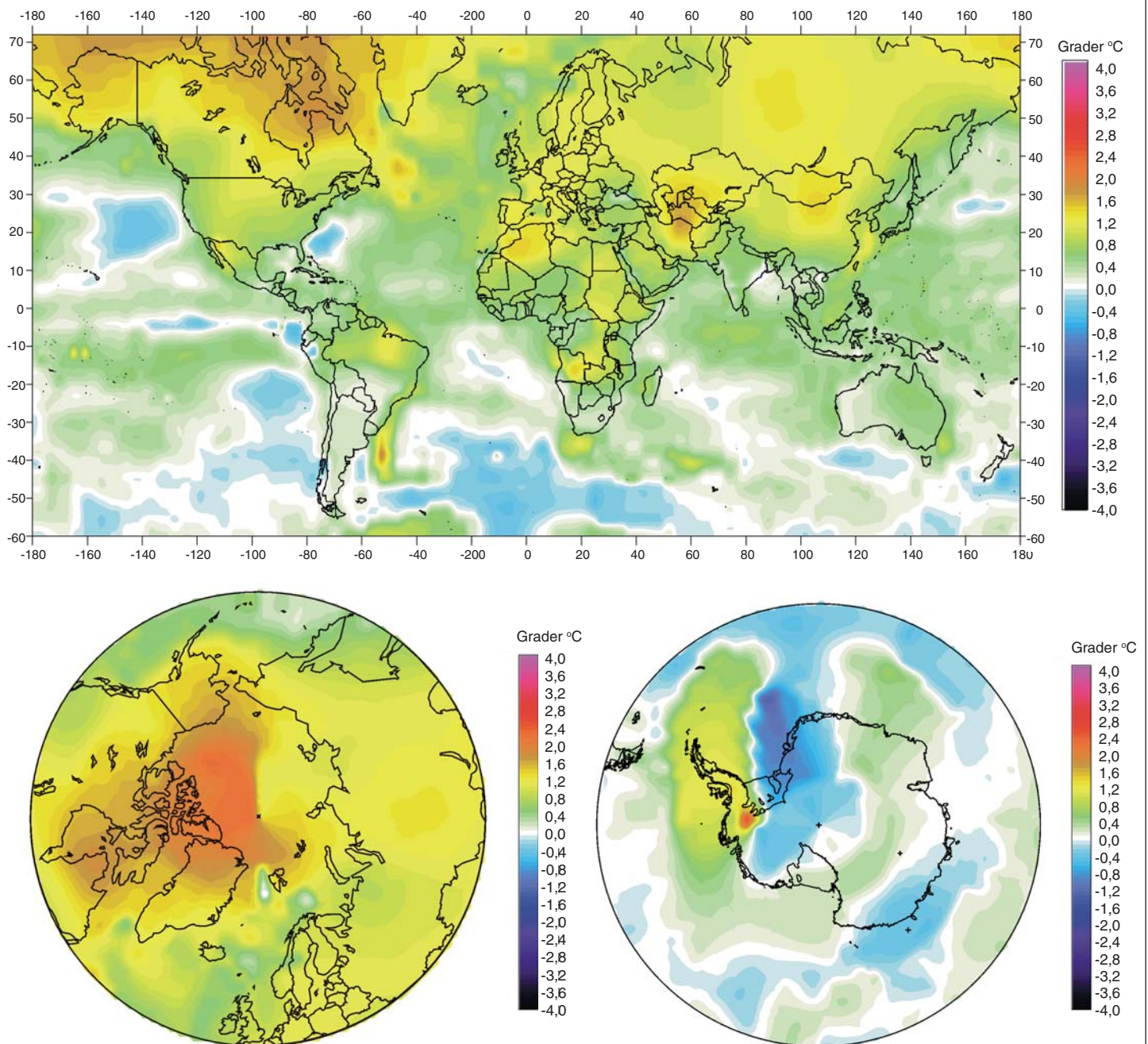
Titanic går ned i april 1912. Kort tid derefter begynder den globale temperatur at stige, samtidig med at mængden af CO₂ i atmosfæren fortsat vokser. Nu ser sammenhængen mellem temperatur og CO₂ mere fornuftig ud. Dette er tidspunktet, hvor CO₂-hypotesen for første gang for alvor begynder at vinde indpas i brede forskerkredse. I Norge peger forskere på CO₂ som årsag til den daværende tilbagesmeltning af gletschere. I Sverige peger bekymrede forskere på den mindskende arktiske havis. Nordostpassagen gennemsejles for første gang i historisk tid uden overvintring i 1932 af den russiske trawler Sibiryakov.

Hitlers 1.000-års rige afsluttes i 1945,

og en ny klimaudvikling påbegyndes. Nu synker temperaturen, selvom mængden af CO₂ fortsat øges. I 1940 er den atmosfæriske CO₂-koncentration 312 ppm, mens den er steget til 336 ppm i 1978, en stigning på 24 ppm. Igen er der modstrid mellem den virkelige temperaturudvikling, og det man skulle forvente ifølge CO₂-hypotesen. I videnskabelige kredse holder hypotesen om CO₂'s store temperatureffekt derfor lavere profil end tidligere. Nu udtrykker nogle bekymrede forskere derimod nervøsitet ved temperaturfaldet. Sådan set er udviklingen udmærket for gletscherne, men desværre resulterer den samtidig i en afkortet vækstsæson i mange landbrugsområder. I Sahel i Nordafrika bliver resultatet af afkølingen svigtende monsun og tørkekatastrofe med et sted mellem 100.000 og 200.000 døds-ofre. Fejlslagen høst underminerer samtidig USSR's økonomi. I Danmark fører temperaturfaldet til isvintrene i perioden 1960-1979. World Meteorological Organisation (WMO) foreslår tiltag for at stoppe eller i det mindste bremse den truende afkøling. Enkelte aviser og nyhedsmagasiner skriver sensationelle historier om en kommende istid. Men man skal som bekendt ikke tro på alt, hvad der står i aviserne.

Fra slutningen af 1970'erne begynder temperaturen at stige, og CO₂-hypotesen bliver igen mere attraktiv. Oktober 1985 afholdes en videnskabelig konference i Villach, Østrig. Konferencen konkluderer, at fremtidige temperaturstigninger er sandsynlige som følge af den stigende mængde CO₂, der tilskrives menneskets aktivitet. Overraskende nok følte mødedeltagerne sig også kaldet til at fremkomme med konkrete politiske råd om, hvad der burde gøres i

Geografisk fordeling af ændringen i årlig middeltemperatur fra 1970-1979 til 1998-2007



Geografisk fordeling af ændringen i årlig middeltemperatur fra 1970-1979 til 1998-2007. Observationsnettet nær polerne er relativt tyndt, og de enkelte detaljer bør derfor ikke overfortolkes i disse områder. (Datakilde: Modificeret efter NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS)).

denne forbindelse, selvom ingen af de deltagende 89 forskere fra 29 nationer havde politisk mandat hertil fra deres hjemland. En del af deltagerne havde heller ikke meteorologisk eller klimatologisk faglig baggrund. Bag konferencen stod bl.a. WMO, hvis bekymring åbenbart ikke længere var udsigten til en kommende istid, men nu det helt modsatte.

Afgørende for den videre udvikling var dog et møde i en U.S. senatskomité, juni 1988. Sommeren 1988 var varm i USA, og tørke i Midtvesten var et problem. NASA-forskeren James Hansen udtalte, at der var "a strong cause and effect relationship between the current climate and human alteration of the atmosphere". Hansens klimamodel forudså en global temperaturstigning

på ca. 0,5 °C fra 1988 til 1997, som følge af CO₂ frigivet ved forbrænding af kul, olie og naturgas. I virkeligheden steg temperaturen ca. 0,1 °C. Også James Hansen supplerede sit videnskabelige indlæg med konkret politisk rådgivning.

Hermed trådte CO₂-hypotesen for alvor igen ind på den videnskabelige scene og for første gang også med effekt på den politiske scene. Daværende premierminister Margaret Thatcher bidrog i september 1988 aktivt til politiseringen af klimaforskningen ved en tale i The Royal Society i London. I november 1988 bliver IPCC (International Panel on Climate Change) etableret som et politisk-videnskabeligt organ under FN. Formålet med IPCC er at forsyne regeringer verden over med videnskabelige argumen-

ter for reducere af CO₂-udledning for at undgå uønskede fremtidige klimaændringer. Med udgangspunkt i Brundtland-rapporten fra 1989, ratificerede et stort antal af verdens regeringer på Rio-topmødet i 1992 synspunktet om, at vi står over for en menneskeskabt klimakrise som følge af CO₂-udledning. Dette har siden været det politisk korrekte synspunkt. Omkring 10 års temperaturstigning var dengang grundlag nok til at iværksætte alt dette.

Der er ingen tvivl om at den globale temperatur er steget i sidste del af det 20. århundrede. Figuren ovenfor viser den geografiske fordeling af temperaturændringen beregnet som forskellen mellem gennemsnittet for perioderne 1998-2007 og 1970-1979. Gule og røde farver viser, hvor det er

blevet varmere i løbet af perioden, blå hvor det er blevet koldere.

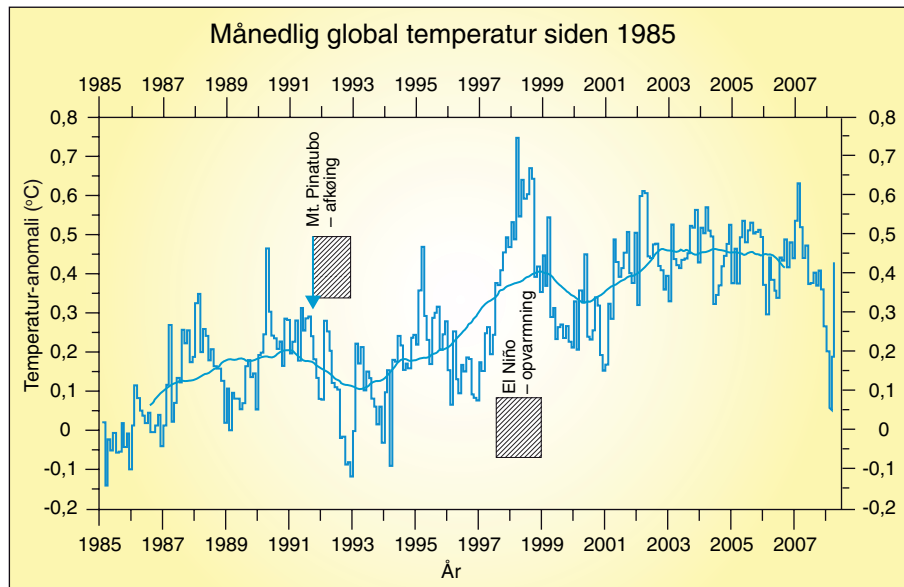
Denne geografiske fordeling af temperaturændringen er ganske interessant i sig selv. Opvarmningen har hovedsagelig været et fænomen reserveret den nordlige halvkugle, mens opvarmning kun i mindre omfang er synlig for den sydlige halvkugle. Store områder af Antarktis er faktisk blevet køligere, og helhedsbilledet for Antarktis er en stort set uændret temperatur over perioden. Ofte har man hørt om kraftig opvarmning i Antarktis, men i virkeligheden har denne opvarmning været et isoleret fænomen for den Antarktiske Halvø, der kun udgør få procent af det samlede landareal.

Et andet forhold er værd at bemærke. Opvarmningen har hovedsageligt været lokaliseret til landområderne og ses ikke i samme omfang for oceanerne med undtagelse af Nordatlanten. Denne forbindelse mellem landområder og temperaturstigning er med til at gøre den globale opvarmning til et stærkt asymmetrisk fænomen.

Nu vil nogle muligvis hævde, at den hypotetiske effekt af CO₂ skulle virke lige kraftigt overalt, hvorfor den markante asymmetri modbeviser hypotesen om den menneskeskabte globale opvarmning. Det er nu ikke tilfældet. Over landområder er der en række specielle forhold, bl.a. knyttet til vegetation og snedække, som kan bidrage til at forklare, hvorfor temperaturændringen hér bliver særligt markant. Den store forskel i temperaturudvikling for de to polområder er derimod et klart større problem for CO₂-hypotesen, hvilket vi kommer tilbage til.

Nutidige klimaændringer

Men først må vi se på temperaturudviklingen de allerseneeste år. Mellem 1978 og

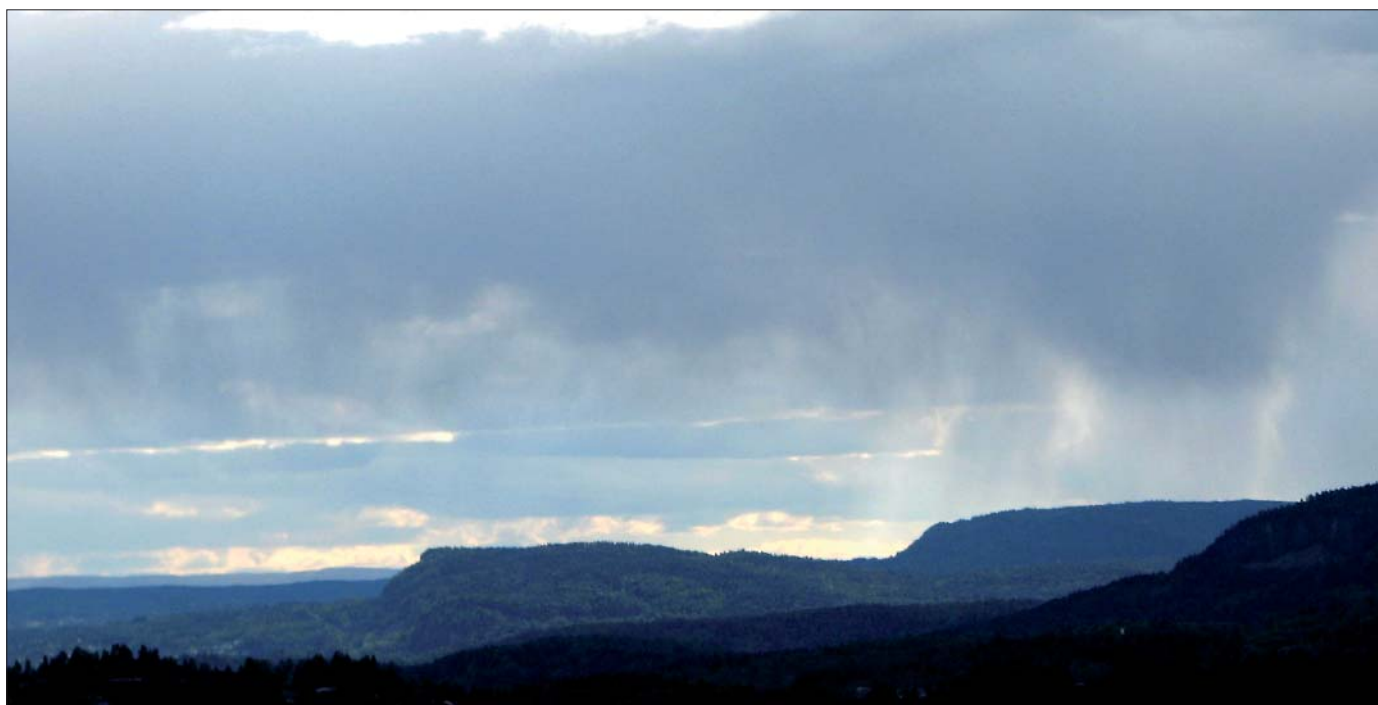


Månedlig global temperatur siden 1985 ifølge Hadley Centre for Climate Prediction and Research og Climatic Research Unit (CRU) ved University of East Anglia, UK, opdateret til og med marts 2008. Temperaturen er vist som afvigelse i forhold til gennemsnittet for WMO normalperioden 1961-1990. Den kraftige streg viser det løbende 37-måneders gennemsnit. De skraverede områder viser perioder klart påvirket af henholdsvis vulkanudbruddet El Pinatubo i 1991 og det oceanografiske fænomen El Niño (1998) i Stillehavet. (Grafik: UVH modificeret efter Hadley Centre for Climate Prediction and Research og Climatic Research Unit (CRU) ved University of East Anglia, UK)

1998 stiger temperaturen cirka 0,35 °C, mens CO₂ stiger fra 336 til 367 ppm (figuren på side 6). Hypotesen om CO₂'s store temperaturbetydning går sin sejrsgang i årene frem til 2007. Forskere udtaler, at mængden af CO₂ i atmosfæren nu er så stor, at alle andre forhold drukner i påvirkningen heraf. Nobelpris uddeles til Al Gore og IPCC, og alt synes at være i sin skønneste orden.

Men samtidig er der i al stilhed indledt

en ny og interessant temperaturudvikling (se figuren ovenfor). Mængden af atmosfærisk CO₂ øges fortsat, fra 367 ppm i 1998 til ikke mindre end 383 ppm i 2007. Men samtidig ophører den globale temperatur med at stige og viser i stedet stagnation. Igen må andre forhold end CO₂ have overtaget den dominerende rolle. Man kan undre sig over, at IPCC i sin seneste rapport (2007) helt har overset denne nyeste udvikling?



Nedbør falder fra skyer over det sydlige Norge, 28. August 2007. Den vigtigste drivhusgas fjernes fra atmosfæren. (Foto: Forfatteren)

Fraværet af den forudsagte temperaturstigning er naturligvis blevet bemærket af andre end IPCC. Fornuftigvis er det samtidig blevet påpeget, at 10 år ikke er en lang periode. Der er jo andre fænomener, der vides at have indflydelse på temperaturudviklingen, eksempelvis vulkanudbruddet Mt. Pinatubo i 1991 og det oceanografiske fænomen El Niño i 1998. Det er også påpeget, at påvirkningen af CO₂ egentlig ikke er så stærk, og at man derfor behøver længere tid, måske 20-30 år, for at kunne sige noget sikkert.

At den temperaturmæssige effekt af CO₂ er forholdsvis svag, er sandsynligvis korrekt, hvorfor man muligvis må have 20-30 års temperaturdata eller mere for at kunne konkludere noget sikkert. Samtidig må man imidlertid undre sig over, hvorfor dette fornuftige synspunkt ikke blev gjort gældende i 1988? Dengang blev kun 10 års temperaturstigning anset for nok til at træffe store, internationale beslutninger. Det må derfor konkluderes, at godtagelsen af CO₂-hypotesen i 1988 efter kun 10 års temperaturstigning sandsynligvis var forhastet. Havde man i stedet ladet fornuften råde og ventet 20-30 år eller mere, ville man have registreret de senere års temperaturstagnation. Derved var man sandsynligvis kommet gevaldigt i tvivl om CO₂-hypotesens rigtighed.

Falsifikation af CO₂-hypotesen

Den lange ventetid på det globale temperatursignal er i sig selv et problem for CO₂-hypotesen. En videnskabelig hypotese testes nemlig ved, at hypotesen anviser én eller flere forudsigelser om ukendte forhold, der her og nu kan efterprøves. Hvis ikke forudsigelsen er korrekt, er hypotesen falsificeret eller modbevist. Så enkelt er det. Så er det tilbage til skrivebordet for at omformulere hypotesen, så den bringes i overensstemmelse med den nye, kritiske observation. Eller som formuleret af Albert Einstein i 1931: *“To defeat relativity, one did not need the word of 100 scientists, just 1 fact”*, som hans egen vurdering af hvad der skulle til for at kuldaste hans den gang nyligt fremsatte hypotese, i dag bedre kendt som relativitetsteorien.

Hvis ikke hypotesen kan anviser en testmulighed her og nu, er hypotesen ikke videnskabeligt interessant, men kategoriseres bedre som tro. At have tro eller tiltro til et bestemt synspunkt er naturligvis helt legalt og kan ligefrem være beundringsværdigt, men det har ikke noget med videnskab at gøre. Ingen forsker vil naturligvis vente 20-30 år på udfaldet af en hypotese om en fjern fremtid.

Nu er det imidlertid så heldigt, at CO₂-hypotesen faktisk anviser mindst to forudsigelser, der kan efterprøves her og nu. Den

ene er, at planetens poler skal varmes hurtigere op end resten af planetens overflade. En anden forudsigelse er, at atmosfæren over ækvator i 8-12 km's højde varmes omtrent dobbelt så hurtigt op som jordoverfladen nedenunder.

Udsat for disse testmuligheder forulykker CO₂-hypotesen på stedet. De sidste 25-30 år er store dele af Arktis rigtignok varmet mere op end gennemsnittet for hele planeten, men samtidig er Antarktis slet ikke varmet op (figuren på side 7). Man kan naturligvis ikke have en hypotese, der kun virker ved den ene af Jordens to poler.

Heller ikke den forudsagte opvarmning af atmosfæren over ækvator modsvares af virkeligheden. Her er temperaturen ved jordoverfladen faktisk steget mere end højere oppe, i direkte modstrid med hypotesen (figuren øverst på næste side). Der er langt mellem model og virkelighed.

Så fra et videnskabeligt synspunkt er der ingen tvivl: Hypotesen om CO₂'s store betydning for den globale temperatur er modbevist i sin nuværende udformning. De sidste 10 år med stagnerende temperatur er bare et enkelt element, der føjer sig til rækken af forhold, der viser, at vor forståelse af det globale klima endnu er ufuldstændig, og at betydningen af CO₂ sandsynligvis er overvurderet.

Løbet tør for ideer?

Der er mange udfordringer omkring grundvand, vandmiljø og natur. Find bæredygtige løsninger sammen med en rådgiver der har skarpt fokus på miljøet.

Vi hjælper med:

- Geofysisk kortlægning
- 3-D modeller
- Grundvandmodeller
- Kemisk kortlægning
- Potentialekort
- Afdækning af samspillet mellem grundvand og overfladevand

Læs mere på www.orbicon.dk



Dette er naturligvis ikke ensbetydende med, at alt er forkert med vor nuværende opfattelse om årsager til globale klimaændringer; kun at forståelsen endnu er ufuldstændig. Skulle den nuværende temperaturstagnation imidlertid efterfølges af et regulært temperaturfald, vil det være ensbetydende med "sudden death" for CO₂-hypotesen, selv blandt de mest ihærdige tilhængere, med mindre der samtidig foreligger et massivt vulkanudbrud eller lignende.

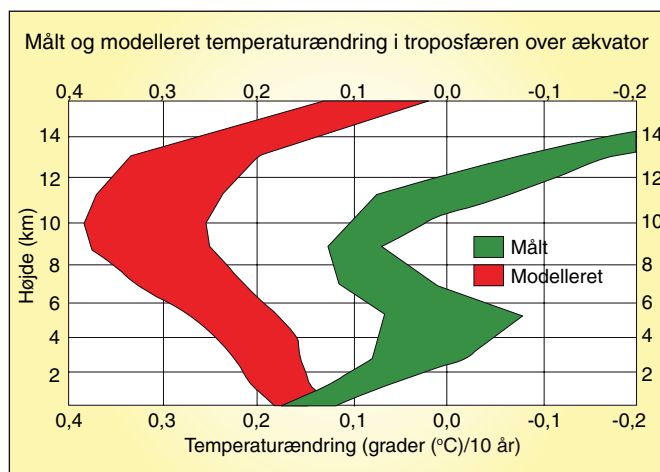
Klimamodeller

Klimamodellernes troværdighed argumenteres sædvanligvis med, at de på god vis er i stand til at gengive temperaturudviklingen over tidsrummet 1900-2000, når effekter af menneskeskabt CO₂ medtages. Denne evne kan ikke bestrides, og der udføres et beundringsværdigt arbejde med udformningen af dagens komplicerede klimamodeller. Men når man først har glædet sig over den fine overensstemmelse og derefter begynder at tænke selv, bliver man hurtigt klar over, at det faktisk er meget mærkeligt. Alle klimamodeller tilskriver CO₂ stor temperaturmæssig betydning. Men de er indbyrdes forskellige med hensyn til den nøjagtige temperaturfølsomhed for CO₂. Samtidig benytter de alle identiske data for drivhusgasser de sidste 100 år. Så hvordan i alverden kan de da alligevel komme til samme slutresultat?

Forklaringen ligger i de mange ukendte faktorer, som også har påvirket klimaet tilbage i tiden; eksempelvis ozon, aerosoler, skydække og meget mere. Det, der i praksis gøres, er, at man for den enkelte model fremstiller en tidsserie for disse ukendte faktorer, der med den valgte følsomhed for CO₂ gør det muligt at tilpasse modelberegningen til den kendte globale temperatur de sidste 100 år. Dette kaldes tuning, og er velkendt i forbindelse med numerisk modellering. Sammenligner man de forskellige modellens antagelser om de ukendte faktorer variation tilbage i tiden, er der derfor forskelle fra model til model. Ellers kunne de jo ikke komme til samme slutresultat. Det vil med andre ord sige, at de forskellige modeller i virkeligheden er beregnet for forskellige typer klimapåvirkning over de sidste 100 år, og at deres overensstemmelse er resultat heraf. Men dermed bortfalder naturligvis klimamodellernes fine overensstemmelse med målte temperaturer i det 20. århundrede som brugbart argument for deres troværdighed.

Bortset fra dette er det almindeligt kendt, at har en matematisk model blot 5-6 justerbare faktorer, er det ikke vanskeligt at tilpasse modellen til et vilkårligt kendt forløb. Men det betyder ikke, at modellen hermed automatisk giver fornuftige resultater, når man går blot 1 år ud i den endnu ukendte fremtid. Ellers ville det være så enkelt at vinde i tipning uge efter uge. Økonomisk videnskab illustrerer problemstillingen tydeligt: Økonomiske modeller, der er suc-

Målt (grøn) og modelleret (rød) temperaturændring i troposfæren over ækvator (Douglass et al. 2007). Temperaturændringen er angivet som 10-årig gennemsnit. De farvede områder viser spredningen af forskellige måleserier og modelberegninger og illustrerer forskellen mellem de to datasæt. (Grafik: UVH modificeret efter (Douglass et al. 2007))



cessfuldt tunet til at gengive en periode af fortiden, tager desværre altid fejl, når de forsøger at forudsige fremtiden. Her er det i sig selv tankevækkende, at den fremtidige økonomiske udvikling er grundlaget for de scenarier for udledning af CO₂, der ligger til grund for klimamodellerne. Den fremtidige økonomiske udvikling er med andre ord en relativt simpel problemstilling sammenlignet med den fremtidige klimaudvikling. Men den økonomiske udvikling er alligevel erkendt for kompliceret til at kunne modelleres på troværdig vis. Man kunne da forvente, at det samme gjaldt for den endnu mere komplekse klimamodellering?

Klimamodellernes evne til at gengive hovedtræk af temperaturudviklingen de sidste 100 år er altså ikke bevis for deres troværdighed, men er blot resultat af sædvanlig tuning til et i forvejen kendt resultat. Formodningen om CO₂'s store betydning for den globale temperatur befinder sig dermed fortsat på hypotesestadiet. Og desværre kommer hypotesen ikke ud over dette stadium, så længe flertallet af forskere er mere optaget af at finde situationer, der støtter hypotesen, end de er interesserede i systematiske forsøg på at finde fejl ved denne.

Et konkret eksempel kan belyse den mærkværdige argumentation, der til tider mobiliseres som forsvar for klimamodellerne: I England var sommeren 2006 varm og tør. Fremtrædende klimaforskere udtalte dengang, at det lige akkurat var den type sommer, der med tiden vil blive mere og mere almindelig som følge af den menneskeskabte globale opvarmning. Sommeren 2007 blev derimod kold og fugtig i England, ganske som mange andre steder i Vesteuropa. Nu kunne man jo forvente, at de samme klimaforskere ville konkludere, at sommeren 2007 ikke passede ind i billedet af menneskeskabt global opvarmning. Men nej – de udtalte i stedet for, at det gjorde måneden faktisk: Selv om sommervejret strengt taget burde blive mere varmt og tørt, ville samtidig situationer med ekstremt vejr som fx koldt og regnfuldt vejr blive mere hyppige. Voilå: Alle tænkelige vejrtyper, varmt og

tørt eller koldt og vådt, støtter nu på næsten mirakuløs vis CO₂-hypotesen. Krone op, så vinder jeg. Plat op, så taber du.

Dette er et mesterligt eksempel på, hvad der i videnskab omtales som en ad hoc-forsvarsmekanisme, der gør alle udfald tænkbare for en bestemt hypotese. Derved eksisterer der i praksis ingen mulighed for falsifikation eller tilbagevisning af hypotesen. Som alt andet i livet har dette ufejlbarlige forsvar naturligvis sin pris. I dette tilfælde er prisen, at hypotesen mister sin videnskabelige karakter. I stedet antager den karakter af et selvunderstøttet trossystem, bygget op over en række konklusioner, der er taget på forhånd. Der er som nævnt intet galt ved at basere sine holdninger på et trossystem, men det har intet med videnskab at gøre.

Politik og videnskab sammenblandet

Med hensyn til hypotesen om den menneskeskabte globale opvarmning er det øjeblikkelige problem, at sagen ikke længere er rent videnskabelig, men at mange andre velmenende aktører har investeret prestige og forventninger i en fremtidig temperaturstigning. Dermed er det naturligvis ikke attraktivt at underkaste CO₂-hypotesen den normale videnskabelige proces med falsificering og dragen konsekvenser heraf. For disse personer er det mere naturligt at tænke i gode demokratiske baner og lægge vægt på forhold som flertal, konsensus og lignende.

I politik gælder desuden helt andre regler end i videnskab, og i princippet er alle synspunkter ligeværdige og må respekteres uden detaljeret argumentation. Det gælder naturligvis også synspunktet om, at de 20 års globale opvarmning 1978-1998 var forårsaget af menneskets forbrænding af fossile brændstoffer. Hvis man grundlæggende mener, at sådan er det, er det forståeligt at hævde, at temperaturudviklingen de sidste 10 år ikke betyder noget, og at man må vente længere for at få klarhed. Politisk set vil man forståeligt nok gerne vinde tid i den nuværende situation med stagnerende global temperatur.

Uanset meningsforskelle har mange cen-

trale aktører formodentlig allerede nu indset, at med den nuværende temperaturstignation bliver de allernærmeste år afgørende for CO₂-hypotesens videre psykologiske og politiske skæbne. Vi kommer ikke til at vente i hverken 20 eller 30 år. Den gode nyhed er, at slutresultatet med sikkerhed bliver en endnu bedre forståelse af, hvilke faktorer de påvirker det globale klima og på hvilken måde.

Forsigtighedsprincippet

Forsigtighedsprincippet er et ofte benyttet argument for at iværksætte tiltag mod fremtidige klimaændringer her og nu. Forsigtighedsprincippet bør imidlertid benyttes med stor varsomhed, da historien er rig på eksempler, hvor netop dette princip er benyttet til at hindre anderledes tænkende i at komme til orde.

Desuden må man huske at forsigtighedsprincippet er et tveægget sværd. Hvis man med udgangspunkt i forsigtighedsprincippet gennemfører en række tiltag uden sikkerhed for, at årsager til nutidens klimaændringer er klart forstået, løber man naturligvis en risiko for grundløst at påvirke national og international økonomi negativt.

En medvirkende årsag til det øjeblikkelige fokus på CO₂ er sandsynligvis det moderne menneskes ønske om tryghed i alle henseender. Også med hensyn til klima. Hvis man er overbevist om, at mennesket selv er årsag til nutidens klimaændringer, rummer netop dette synspunkt også muligheden for at kontrollere og tilbageføre klimaet til en bestemt, tidligere tilstand. Hvis derimod det skulle vise sig, at mennesket kun har mindre betydning, gives der ingen forudsigelighed og tryghed i denne henseende, men man er som tidligere overladt til en nådesløs darwinistisk selektionsproces med krav om tilpasning og nytænkning.

Den glemte drivhusgas

Måske bliver det om få år åbenbart, at vor nuværende opfattelse af CO₂'s betydning for den globale temperatur var overdrevet. Men hvad kan da være årsag til de indiskutable klimaændringer, vi har oplevet i både fortid og nutid? Små, systematiske ændringer i Jordens bane om solen forklarer meget af tidsforløbet for de store ændringer mellem istider og mellemistider. Og på kortere sigt er der ingen grund til at se bort fra atmosfærisk CO₂ som én blandt mange faktorer for det globale klima. Men der er samtidig god grund til at se nærmere på den vigtigste drivhusgas af alle: vanddamp.

Vanddamp er den allervigtigste drivhusgas. Vurderinger af dens relative betydning ligger typisk mellem 75 % og 95 % af den samlede drivhuseffekt. Vanddamp er jo også vigtig for skydækket. På denne baggrund er det forbløffende, at klimamodeller behandler vanddamp stedmoderligt som en faktor der passivt styres af ændringer af CO₂. Vanddamp får bestemt ikke den fremtræ-

dende plads, som den naturligt kvalificerer sig til.

Ved fordampning fjernes vand fra planetens overflade. Dette er en proces, der forbruger varme, og som er vigtig for at holde overfladetemperaturen nede på et behageligt niveau. Med opstigende luftmasser bringes denne drivhusgas op i atmosfæren, hvor en del kondenserer og danner skyer (foto øverst på side 12). Skyerne reflekterer en betydelig del af den indkomne solstråling, og er også på anden vis vigtig for planetens samlede energiregnskab. Jo flere skyer, jo køligere ved planetens overflade; en effekt der især hidrører fra de såkaldt lave skyer i de nederste kilometer af atmosfæren (foto side 4). Den overordnede statistiske sammenhæng mellem mængden af lave skyer og global temperatur er, at vokser skydækket 1 %, falder temperaturen knap 0,1 °C.

Ved kondensering frigives latent varme, så på denne måde bliver både vanddamp og

varme fra planetens overflade med opstigende luftmasser transporteret højt op i atmosfæren. Her kan den frigivne varme ved infrarød stråling direkte afgives til verdensrummet. Denne varmeafgivelse er vigtig for den globale temperatur.

I skyerne kan dannes nedbør, især i udbredte opstigende luftmasser, som eksempelvis i forbindelse med de vandrende lavtryk. En del af denne nedbør falder tilbage til jordoverfladen, hvorved skyerne er med til at sikre, at der hele tiden fjernes store mængder af drivhusgassen vanddamp fra atmosfæren (foto side 8). Vandet, der falder som nedbør på planetens overflade, kan da atter fordampe og bringe ny vanddamp og varme op i atmosfæren. Hele dette kredsløb tjener som en effektiv regulator af planetens temperatur både ved overfladen og højere oppe i atmosfæren.

Det, vi her taler om, er også kendt som det hydrologiske kredsløb. Dette er ikke

Vokseværk

Birch & Krogboe er vokset ud af sit navn.

Vores vækst har givet os mange nye kompetencer, og i dag er vi derfor meget mere end rådgivende ingeniører.

Fra den 15. januar 2008 samler vi vores kompetencer under vores nye navn: ALECTIA. Navneskiftet gælder også Danbrew, Dansk Arbejdsmiljø, Watertech, JobLiv Danmark og MA Project, der i dag er en del af Birch & Krogboe.

ALECTIA er den nye fællesnævner for alle vores medarbejdere og alt det, vi står for i dag.



Læs mere på www.alectia.com

ALECTIA



Sky dannet af opstigende varme luftmasser over det sydlige Norge, 7. Maj 2005. (Foto: Forfatteren)

kun interessant i forbindelse med landbrug, kunstvandring, vandkraft og geomorfologi, men er sandsynligvis helt centralt for forståelsen af globale klimaændringer, bl.a. i kraft af betydningen for mængden af den vigtigste drivhusgas i atmosfæren. Klimaet på vor planet styres i høj grad af vanddamp og skyer. I tillæg hertil kommer vigtige påvirkninger fra andre drivhusgasser, vulkaner, oceanografiske variationer samt naturligvis fra ekstrasolstråling bl.a. solen. Trods det hydrologiske kredsløbs store klimabetydning har vi alligevel kun et ufuldstændigt kendskab til mange af de processer, der knytter sig hertil, bl.a. hvilke faktorer der har indflydelse på skydannelse.

Det er som nævnt sandsynligt, at vi overvurderer temperaturbetydningen af CO₂, og at nutidens klimaændringer hovedsageligt skyldes naturlig variation. Det viser de gentagne misforhold mellem temperatur- og CO₂-udvikling. I betragtning af vanddamps rolle som den klart vigtigste af alle driv-

husgasser og den samtidigt grundlæggende betydning for skydannelse, er manglen på selvstændigt fokus på vanddamp og skyer i klimamodeller overraskende og bekymrende. Disse vigtige faktorer er bare med som passive følgevirkninger (parameteriseringer) til CO₂-ændringer uden selvstændig modellering baseret på fysisk-kemiske lovmæssigheder. At forudsige fremtidige klimaændringer, før alle forhold er klart forstået, er naturligvis ikke muligt.

Fremtidens udfordringer og muligheder

Fremtiden vil med sikkerhed bringe den ene eller anden form for klimaændring, men det er ikke ensbetydende med katastrofe og ødelæggelse. Kommende klimaændringer vil derimod som alle tidligere klimaændringer betyde nye udfordringer og nye muligheder. Hvad der i fremtiden vil være vigtig for alle nationer, vil ganske som i fortiden være nationens geografi, kultur, uddannelse, politiske styreform og ikke mindst myn-

dighedernes evne til med rettidig omhu at træffe rationelle beslutninger.

Klimaændringer og deres effekter er et uhyre komplekst tema, hvor historien lærer os, at forenklinger ofte leder til misforståelse og forvirring, og at forståelse forudsætter indsigt, eftertanke og analyse samt ydmyghed og åbenhed for nye hypoteser.

Referencer:

- Alley, R.B. 2004. GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2004-013. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- Douglass, D.H., Christy, J.R., Pearson, B.D. og Singer, S.F. 2007. A comparison of tropical temperature trends with model predictions. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.1651
- Fischer, H., M. Wahlen, J. Smith, D. Mastroianni, og B. Deck, 1999. Ice core records of Atmospheric CO₂ around the last three glacial terminations. *Science* 283, 1712-1714.
- Jessen, C.A., Rundgren, M., Björck, S. og Muscheler, R. 2004. Climate forced atmospheric CO₂ variability in the early Holocene: A stomatal frequency reconstruction. *Global and Planetary Change* 57, 247-260.
- Mudelsee, M. 2001. The phase relations among atmospheric CO₂ content, temperature and global ice volume over the past 420 ka. *Quaternary Science Reviews* 20, 583-589.
- Petit, J.R., et al., 2001. Vostok Ice Core Data for 420,000 Years. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2001-076. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- Wagner, F., Kouwenberg, L.L.R., van Hoof, T.B. og Visscher, H. 2004. Reproducibility of Holocene atmospheric CO₂ records based on stomatal frequency. *Quaternary Science Reviews* 23, 1947-1954.
- Jaworowski, Z., Segalstad, T.V. og Ono, N. 1992. Do glaciers tell a true atmospheric CO₂ story? *The Science of the Total Environment* 114, 227-284.



vi gør din jord grøn igen!

meldgaard tilbyder et totalkoncept til jordrens.

Det vil kort sagt sige - uanset hvilket problem du står overfor - så kan du nøjes med at ringe til ét nummer - **74 33 72 00**.

- transport
- rådgivning
- prøvetagning
- opbevaring
- jordrens
- handlingsplan

meldgaard MILJØ A/S

Sønderjyllands største miljøcenter
Bladknæk 19 • 6200 Aabenraa
74 33 72 00 • www.meldgaard.com

j o r d r e n s