

# Klima og CO<sub>2</sub> - uenighedens kerne

Trans-Alaska-pipelinen nær Yukon-floden, 23. juni 2008. Kølevingerne på pipelinen sikrer varmetransport fra den underliggende permafrost op i atmosfærens nedre del om vinteren, når luften er kold. Over pipelinen viser skyformationerne, hvordan varme ved fordampning, konvektion og kondensation føres højt op i atmosfæren. (Foto: Forfatteren)

Af Ole Humlum, Institutt for Geofag, Oslo Universitet

I GeologiskNyt nr. 3 og 4 2008 har Hessbjerg, Henriksen og Hinsby samt Langen indlæg som modsvar til min artikel i GeologiskNyt nr. 2 2008. Det er glædeligt, at min lille artikel har vakt opmærksomhed, men det er samtidig lidt skuffende, at ingen af de tre modsvar berører hovedtemaet om forholdet mellem forventet og faktisk temperaturændring. Modsvarenes grundighed giver imidlertid baggrund for en replik, der tydeliggør, hvori den grundlæggende uenighed om klimamodellering består. Jeg tager her udgangspunkt i Hessbjergs fokus på CO<sub>2</sub>'s betydning.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007) angiver, at den globale temperatur er steget 0,74 °C i løbet af det sidste århundrede. Årsagerne til denne stigning kan være mange: Ændringer i solens aktivitet, ændringer i kosmisk stråling, ændringer i skydække, ændringer i oceanografiske forhold, ændringer i arealudnyttelse, ændringer i sne- og isdækket, samt ændringer i den atmosfæriske koncentration af drivhusgasser, især vanddamp og CO<sub>2</sub>.

IPCC mener, at den observerede temperaturstigning efter 1975 hovedsagelig skyldes

den menneskeskabte stigning af drivhusgasser (især CO<sub>2</sub>). IPCC anfører også, at en fremtidig temperaturstigning mellem 2 og 6 °C må påregnes over de kommende 100 år, med størst sandsynlighed for en stigning på ca. 3 °C. Mere specifikt forventes en temperaturstigning på omkring 0,4 °C i løbet af de første 20 år efter årtusindskiftet.

### Temperatureffekten af CO<sub>2</sub>

Som angivet af Hessbjerg (2008) kan temperatureffekten  $\Delta T$  af en stigende atmosfærisk koncentration af CO<sub>2</sub> udtrykkes som:

$$\Delta T = \Delta F * \lambda \quad (1)$$

hvor  $\Delta F = 5,35 \ln(C_1/C_0)$  W/m<sup>2</sup>, og hvor C<sub>0</sub> og C<sub>1</sub> angiver koncentrationen af atmosfærisk CO<sub>2</sub> ved start og slut af det betragtede tidsrum. Størrelsen  $\lambda$  er en såkaldt klimasensitivitetsfaktor, der kan bestemmes til 0,26 °CW<sup>-1</sup>m<sup>2</sup> (se Hessbjerg 2008). Indflydelsen af CO<sub>2</sub> er med andre ord logaritmisk aftagende med stigende koncentration.

Med (1) kan beregnes, at en fordobling af mængden af atmosfærisk CO<sub>2</sub> isoleret set vil resultere i en temperaturstigning på 0,96 °C, uanset startkoncentrationen af CO<sub>2</sub>. Baggrunden for nyten af en simpel formel som (1) er, at atmosfærisk CO<sub>2</sub> anses for jævnt fordelt, og at den teoretiske påvirkning derfor er uden store geografiske forskelle.

Siden 1958 har vi systematiske målinger af atmosfærisk CO<sub>2</sub>. Ifølge målinger foretaget ved Mauna Loa Observatoriet på Hawaii er mængden af atmosfærisk CO<sub>2</sub> steget fra 313 ppm til 386 (juli 2008). Dette giver med

(1) en teoretisk temperatureffekt på 0,29 °C over tidsrummet (50 år). Den globale temperatur er i samme tidsrum steget med ca. 0,5 °C.

Atmosfærisk CO<sub>2</sub> lever naturligvis ikke et isoleret liv i klimatisk henseende, men enhver klimapåvirkning fra CO<sub>2</sub> vil være ledsaget af variationer i andre forhold. Det kan være ændringer i vanddamp, skydække, isdække, snedække, vegetation, osv. Nogle af disse ændringer vil kunne virke i samme retning som CO<sub>2</sub>, mens andre vil modvirke. Når effekten af disse andre forhold medtages, bliver den virkelige klimaændring naturligvis større eller mindre end beregnet med (1).

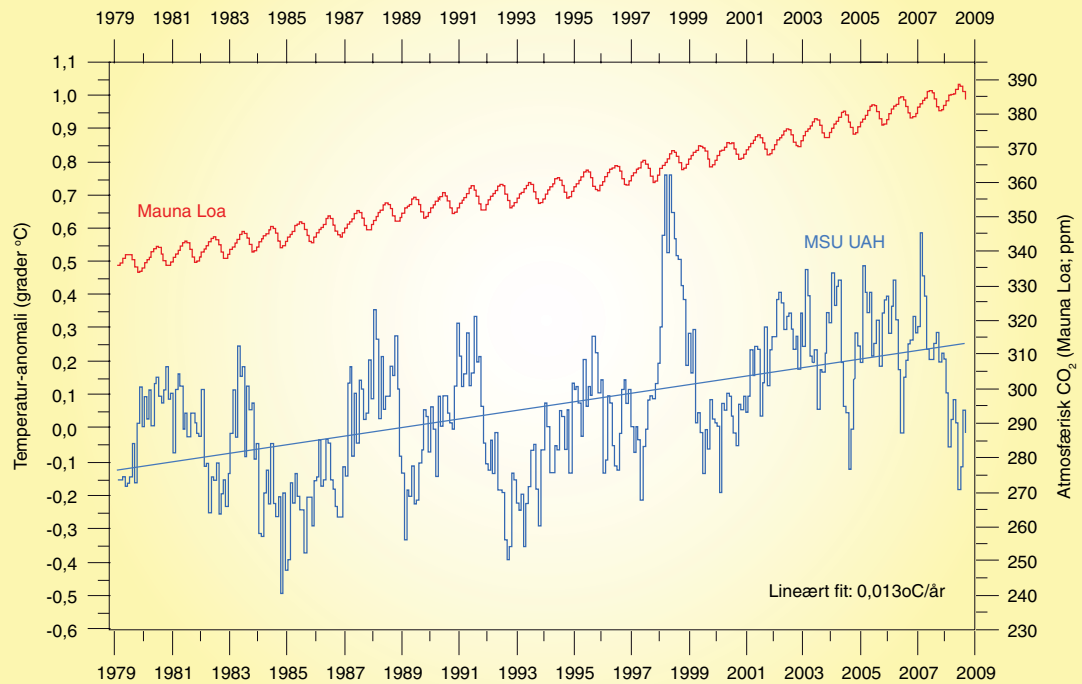
Dette kan være forklaringen på forskellen i temperaturudvikling 1958-2008 mellem den beregnede effekt af CO<sub>2</sub> isoleret (0,29 °C), og resultatet medtaget af den virkelige verden (0,5 °C), hvor også andre forhold indvirker. Som nævnt af Hessbjerg (2008) opererer de fleste klimamodeller derfor med en sensitivitetsfaktor, der er fra 1,5 til 4,6 gange større end klimasensitiviteten for CO<sub>2</sub> isoleret (0,26 °CW<sup>-1</sup>m<sup>2</sup>). Denne høje følsomhed for CO<sub>2</sub> fremkommer ved at multiplicere  $\Delta T$  i (1) med en skaleringsfaktor, der her betegnes som  $\alpha$ .

Den virkelige globale temperaturstigning  $\Delta T_r$ , der medtager både effekten af CO<sub>2</sub> og formodede ledsageeffekter, kan dermed angives som:

$$\Delta T_r = \Delta F * \lambda * \alpha \quad (2)$$

Med  $\alpha = 1$  reduceres (2) til (1), dvs, der er

## Variationen af den månedlige globale temperatur ifølge University of Alabama i Huntsville, USA



Med blå kurve er vist den månedlige globale temperatur (nedre del af troposfæren, MSU AUH; Christy og Norris 2006). Den blå linje angiver resultatet af en lineær regression. Den røde kurve angiver den samtidige månedlige variation af det atmosfæriske indhold af CO<sub>2</sub> målt ved Mauna Loa Observatoriet på Hawaii. (Grafik: UVH modificeret efter forlæg fra forfatteren)

ingen nettoforstærkning (eller svækkelse) af den isolerede CO<sub>2</sub>-temperatureffekt.

Klimamodellerne og IPCC antager, at skaleringsfaktoren  $\alpha$  typisk antager værdier mellem 1,5 og 4,6. Med andre ord formodes de forstærkende effekter knyttet til en CO<sub>2</sub>-stigning at være en god del større end de effekter, der trækker i modsat retning. Imidlertid er der ingen, der med sikkerhed kender den rigtige størrelse af skaleringsfaktoren. En række fornuftige vurderinger foretages, men de forskellige modellens forskellige værdier for  $\alpha$  illustrerer den rådende usikkerhed.

Det er naturligvis kun effekter, der med god grund kan siges at være knyttet til CO<sub>2</sub>-ændringer, der kan medregnes i estimeringen af  $\alpha$ . En række andre vigtige mekanismer kan være uden forbindelse til CO<sub>2</sub> og derfor følge en helt anden variationsrytme. Disse kan selvsagt ikke medtages som CO<sub>2</sub>-forstærkningsmekanismer.

### Virkelighedens verden

Dette bringer os tilbage til virkelighedens verden. Den første del af perioden efter 1958 (CO<sub>2</sub>-dataseriens start) overlapper med en periode med global afkøling, der varer ved til omkring 1975-1978, hvilket komplicerer forholdet mellem CO<sub>2</sub> og temperatur. Den globale temperatur falder, selvom mængden af CO<sub>2</sub> stiger. Lad os derfor indledningsvis alene betragte opvarmningen, der karakteriserede de sidste 20-25 år af det 20. århundrede, hvor både temperatur og CO<sub>2</sub> stiger.

Dette kortere tidsrum giver den yderligere fordel, at vi fra 1979 får adgang til satellitmålinger af den globale temperatur. I modsætning til traditionelle meteorologiske målinger er satellitmålingerne globalt dækkende og upåvirket af fejlkilder som følge af ændringer i stedspecifikke forhold på planetens overflade. Desuden henleder IPCC (2007) selv opmærksomheden specielt på

tiden efter 1975, hvor temperatureffekten af CO<sub>2</sub> ifølge IPCC for alvor træder tydeligt frem.

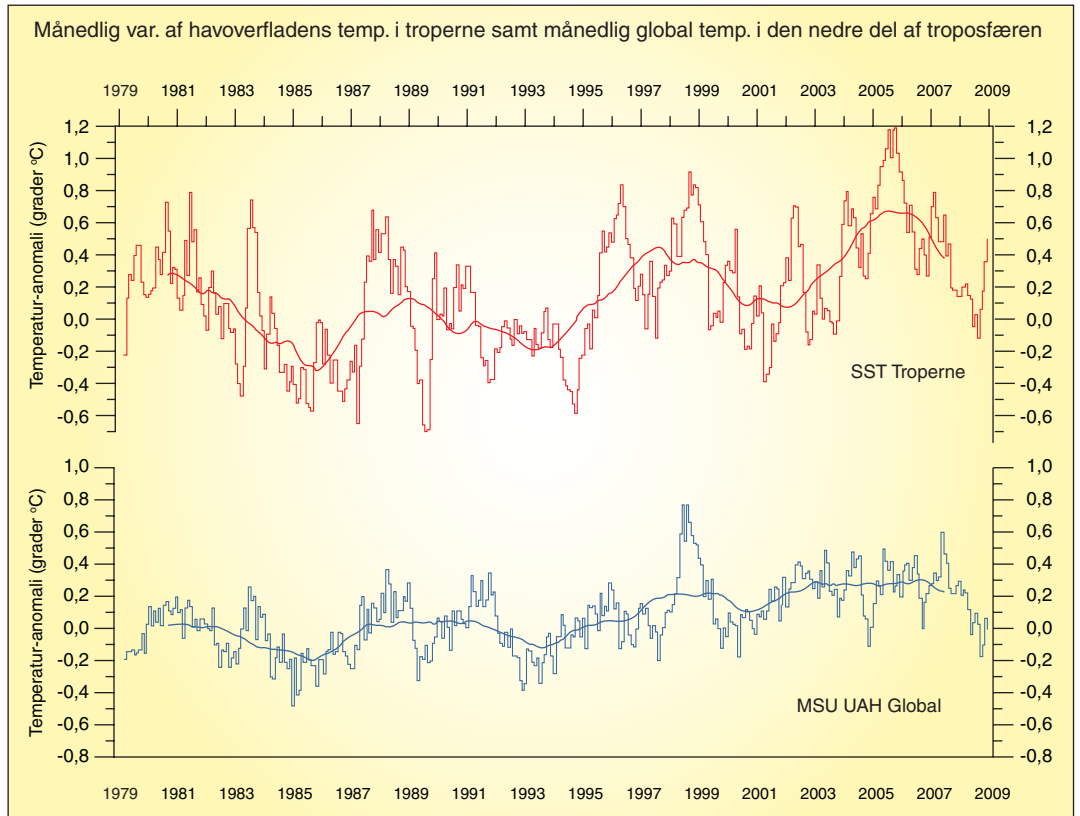
Figuren ovenfor viser variationen af den månedlige globale temperatur ifølge University of Alabama i Huntsville, USA (UAH; Christy and Norris, 2006). I samme diagram er vist de samtidige månedlige målinger af atmosfærisk CO<sub>2</sub> ifølge Mauna Loa Observatoriet, Hawaii. Skalaerne for temperatur og CO<sub>2</sub> er med hensigt valgt, så temperatur og CO<sub>2</sub> visuelt synes at stige i samme takt.

Den globale temperatur passerer et ikke senere overgået toppunkt i 1998. Dette toppunkt skyldes en af mange 2-5 årige variationer, der ses at være pålejret den generelle stigning siden 1979. Figuren øverst på næste side viser, at en del af disse variationer kan forklares som effekten af samtidige oceanografiske variationer; også den markante top omkring 1998. Det ses, at vendepunktet

- Rensning af forurenede jord
- Kartering af jord
- Håndtering af overskudsjord
- Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald
- Genanvendelse af slagger

en del af miljø koncernen

Med blå kurve er vist den månedlige globale temperatur (nedre del af troposfæren, MSU AUH; Christy og Norris 2006). Den røde kurve angiver den samtidige månedlige variation af havoverfladens temperatur i troperne, her defineret som områderne mellem 20°N og 20°S (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices>). De kraftige linjer angiver det løbende 37 måneders gennemsnit, dvs. godt og vel 3 år. (Grafik: UVH modificeret efter forfatterens forlæg)

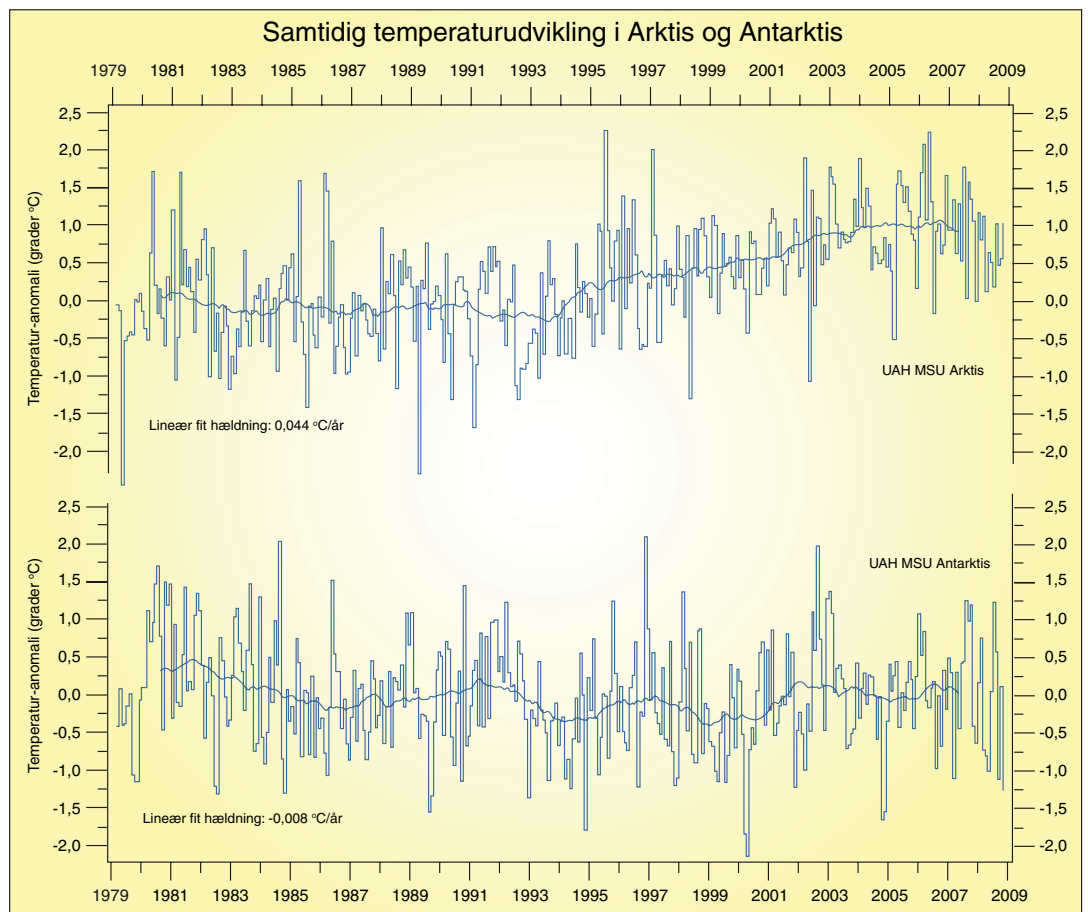


for de oceanografiske temperaturvariationer i flere tilfælde indtræder lidt inden det tilsvarende vendepunkt i atmosfæretemperatur. Det viser, at påvirkningen ofte er fra oceanerne til atmosfæren og ikke omvendt.

Andre variationer, eksempelvis temperaturfaldene i 1985 og 1993, skyldes vulkanudbrud (hhv. El Chichon og Pinatubo). Alle sådanne kortidsvariationer kan naturligvis ikke tilskrives effekten af CO<sub>2</sub>.

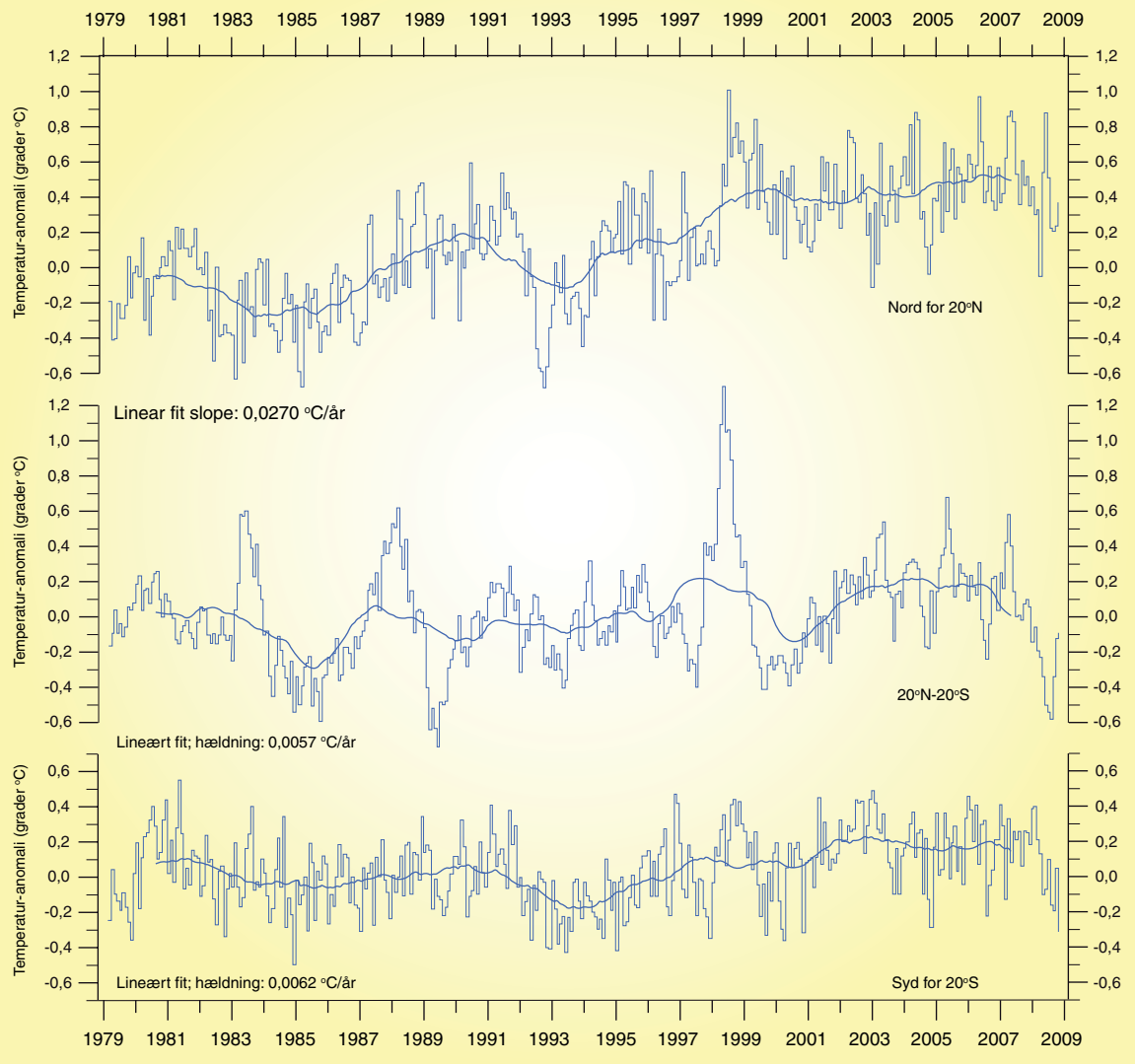
Atmosfærisk CO<sub>2</sub> er i tidsrummet steget fra 336 til 386 ppm. Den rene CO<sub>2</sub>-effekt heraf er ifølge (1) en tilnærmet lineær temperaturstigning på ca. 0,19 °C over de betragtede 30 år, eller 0,0064 °C/år. En lineær

Månedlig temperaturudvikling i den nedre troposfære i Arktis og Antarktis (MSU AUH). Den tynde kurve viser de månedlige værdier, og den kraftige kurve viser det løbende 37 måneders gennemsnit. (Grafik: UVH modificeret efter forfatterens forlæg)





## Temperaturudviklingen i tre store regioner



Temperaturudvikling (MSU AUH) i den nedre troposfære i de to ekstratropiske regioner (nord for 20°N og syd for 20°S) samt omkring ækvator (20°N-20°S). Den tynde kurve viser de månedlige værdier, og den kraftige kurve viser det løbende 37 måneders gennemsnit. (Grafik: UVH modificeret efter forfatterens forlæg)

trendlinje for den virkelige temperaturudvikling har en hældning på 0,0011 °C/måned eller 0,013 °C/år, hvilket giver 0,38 °C over hele perioden (figuren på side 9).

Den observerede temperaturstigning er med andre ord 2 gange den teoretiske stigning forårsaget af CO<sub>2</sub> alene, hvilket antyder en reel klimasensitivitet omkring 2 gange klimasensitiviteten for CO<sub>2</sub> isoleret, dvs  $\alpha = 2$ . Dette ligger inden for intervallet 1,5-4,6 benyttet for  $\alpha$  af mange klimamodeller, og synes dermed umiddelbart at støtte rigtigheden af de betragtninger, der ligger til grund for IPCC's arbejde.

Helt så enkelt er det imidlertid ikke. Det er jo ikke kun CO<sub>2</sub> med direkte følgeeffekter, der påvirker klimaet. En del af temperaturstigningen kan jo udmærket skyldes andre mekanismer, uden tilknytning til CO<sub>2</sub>. Den globale temperatur har jo altid varieret, også inden den nuværende CO<sub>2</sub>-stigning påbegyndtes.

Som nævnt anses CO<sub>2</sub> for at være godt opblandet i atmosfæren. Derfor må man forvente, at den direkte temperatureffekt af CO<sub>2</sub> kun viser relativt små variationer fra nord til syd. Det er jo netop derfor, man

mener at kunne benytte en simpel formel som (1) til at estimere den globale effekt af CO<sub>2</sub>. Indholdet af vanddamp er derimod ikke jævnt fordelt. Mest findes nær ækvator og langt mindre ved polerne. Vanddamp og CO<sub>2</sub> deler mange absorptionsbånd i strålingsspektret, hvorfor man derfor kunne forventes en forstærket CO<sub>2</sub>-effekt i retning mod polerne. Derfor er det vigtigt at undersøge, om enten en symmetrisk eller den gennemsnitlige temperaturudvikling (figuren på side 9) kan genkendes fra nord til syd på planeten, eller om der er store regionale forskelle, der lettest forklares med regionspecifikke forhold uden forbindelse til CO<sub>2</sub>?

Polområderne har stor mediebevågenhed. IPCC (2007) fremhæver, at temperaturen i Arktis i nyere tid er steget 2 gange det globale gennemsnit, hvilket ses som en vigtig støtte for CO<sub>2</sub>-hypotesens rigtighed, jævnfør bl.a. vanddampens uensartede fordeling. Figuren nederst på foregående side viser den samtidige temperaturudvikling i Arktis og Antarktis. I Arktis er temperaturen steget 0,044 °C/år ifølge en lineær regression, mens den i Antarktis er faldet med 0,008 °C/år. Begge tal ligger fjernt fra den gen-

nemsnitlige værdi på 0,013 °C/år beregnet for hele planeten, og i Antarktis er temperaturudviklingen endda diametralt modsat det forventede. De polnære områder viser med andre ord ikke en ensartet temperaturudvikling, men snarere en modsat tendens. Desuden påbegyndes opvarmningen af Arktis først omkring 1993.

Selvom de polnære områder (især Arktis) hyppigt fremhæves i klimadebatten som specielt klimafølsomme, er deres arealmæssige betydning langt fra tilsvarende stor for planeten som sådan. Ukendskab til Mercatorprojektionens geometriske karakteristika har muligvis bidraget hertil? Derfor er det også relevant at se på temperaturudviklingen i andre og mere arealmæssigt betydende regioner.

Figuren ovenfor viser temperaturudviklingen i tre store regioner: Nord for 20°N, mellem 20°N og 20°S, samt syd for 20°S. Det ses umiddelbart, at der er tale om væsentlige forskelle. Nord for 20°N stiger temperaturen markant siden 1979; 0,0270 °C/år. I områderne nær ækvator er temperaturstigningen væsentligt mindre; 0,0057 °C/år. Syd for 20°S er stigningen også be-

skeden; 0,0062 °C/år. (Den mere detaljerede geografiske fordeling ses af figuren på side 7 i Humlum 2008).

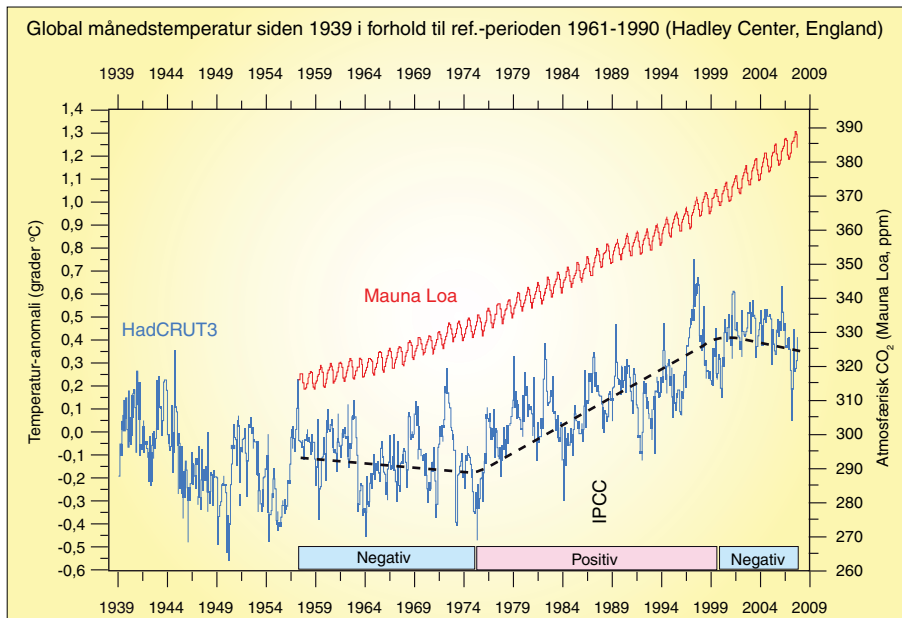
De store forskelle mellem disse tre regioner viser, at temperaturstigningen nord for 20°N ikke alene kan forklares med stigningen i CO<sub>2</sub>, men at andre forhold specifikt for netop dette område må have bidraget til den registrerede temperaturstigning, der går langt ud over det, der karakteriserer resten af planeten. Hovedparten af planetens landområder findes på den nordlige halvkugle, hvorfor det er nærliggende at formode, at disse andre forhold kan være ændringer i overfladetype; eksempelvis sne- og isdækkvariationer påvirket af sod fra industriel virksomhed, skovfældning, opdyrkning, kunstvandring, urbanisering, mv. Hertil kommer naturligvis generelt den store forskel i varmekapacitet mellem land og hav. Alle disse forhold har intet specifikt med CO<sub>2</sub> at gøre, men vil påvirke enhver temperaturændring over land uanset årsag.

Komplekse landområder med stedsspecifikke, til dels antropogene, effekter dominerer regionen nord for 20°N og er derfor ikke velegnede til identifikation af temperatureffekten af CO<sub>2</sub>. Det er derimod i den tropiske region samt på den sydlige halvkugle, at man muligvis kan identificere temperaturpåvirkningen fra CO<sub>2</sub>.

Vælger vi at fokusere på den arealmæssigt vigtige tropiske region mellem 20°N og 20°S, konstateres en gennemsnitlig temperaturstigning på 0,0057 °C/år (figuren øverst på side 11). Dette tal er en mulig kandidat til effekten af CO<sub>2</sub>, inklusive effekten af andre forhold. Den beregnede temperatureffekt af CO<sub>2</sub> alene er 0,0064 °C/år (se ovenfor), hvilket er nær den observerede stigning på 0,0057 °C/år. Betragter vi i stedet regionen syd for 20°S er stigningstakten 0,0062 °C/år, hvilket er endnu nærmere det forventede. Et gennemsnit for de to regioner ligger nær 0,006 °C/år.

Vi må dog fortsat huske på, at det slet ikke er sikkert, at hele stigningen på ca. 0,006 °C/år er resultatet af CO<sub>2</sub> og direkte tilknyttede forstærkningsmekanismer. Også ændringer i andre forhold kan bidrage; oceanografiske forhold, vanddamp, skydække, solaktivitet, m.v. Temperaturstigningen på ca. 0,006 °C/år angiver dermed kun en vejledende værdi for den mulige temperatureffekt af stigende atmosfærisk CO<sub>2</sub>, inklusive tilknyttede forstærkningsmekanismer.

Planetens uensartede temperaturstigning siden 1979 viser dermed, at temperatureffekten af det stigende CO<sub>2</sub>-indhold sandsynligvis ikke er større end temperaturstigningen i de to sydlige zoner, dvs. ca. 0,006 °C/år (se også næste afsnit). Denne stigningstakt er nær end den teoretiske effekt beregnet for CO<sub>2</sub> isoleret, dvs. 0,0064 °C/år. Skaleringsfaktoren  $\alpha$  i (2) synes med andre ord siden 1979 at have en værdi nær 1. Hvis andre forhold uden direkte forbindelse til CO<sub>2</sub> har bidraget til temperaturstigningen,



Den globale månedstemperatur siden 1939 i forhold til referenceperioden 1961-1990 (Hadley Center, England). Figuren er opdateret frem til august 2008. Den røde kurve angiver den samtidige månedlige variation af det atmosfæriske indhold af CO<sub>2</sub> målt ved Mauna Loa Observatoriet på Hawaii. Boksene angiver relationen mellem CO<sub>2</sub> og temperatur. (Grafik: UVH modificeret efter forfatterens forlæg)

er skaleringsfaktoren  $\alpha$  for CO<sub>2</sub> naturligvis tilsvarende mindre. Som nævnt antager de fleste af klimamodellerne, at  $\alpha$  ligger et sted mellem 1,5 og 4,6, hvilket naturligvis giver et langt højere estimat for klimateffekten af CO<sub>2</sub> end det her nævnte.

### Sagens kerne

Her er vi ved sagens kerne: Den ovenstående analyse viser, at mange klimamodeller sandsynligvis overvurderer størrelsen af skaleringsfaktoren  $\alpha$ . Årsagen kan være, at disse klimamodeller antager, at mange klimateffekter specifikt for landområderne kan knyttes til variationer i CO<sub>2</sub>, selvom disse effekter muligvis følger selvstændige variationsrytmer. Størrelsen af skaleringsfaktoren  $\alpha$  for CO<sub>2</sub> er med andre ord et centralt stridsspørgsmål i debatten om fremtidens klima.

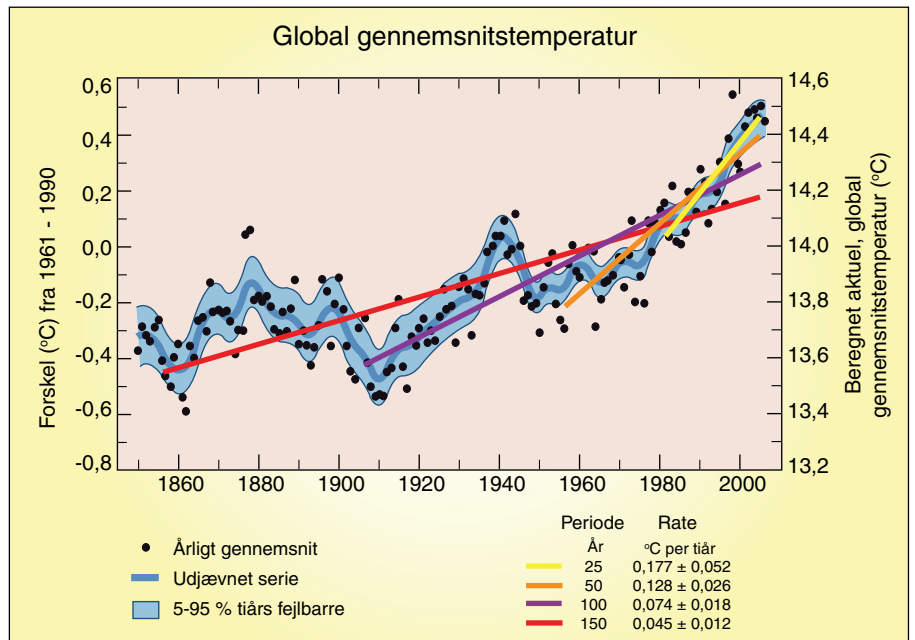
Klimamodellernes prognose om en fremtidig temperaturstigning på 2-6 °C frem til år 2100 forudsætter, at skaleringsfaktoren  $\alpha$  har en værdi mellem 1,5 og 4,6. Sætter vi i stedet mere realistisk  $\alpha = 1$  og antager, at mængden af atmosfærisk CO<sub>2</sub> vokser til 520 ppm frem til år 2100, kan en temperaturstigning på knap 0,5 °C estimeres. Her er stigningstakten for CO<sub>2</sub> i perioden 1990-2000 benyttet som simpelt fremskrivningsgrundlag. Denne temperaturstigning må som nævnt anses som en vejledende værdi, og den virkelige stigning kan blive mindre. Desuden er alle prognoser om fremtidig temperaturstigning afhængige af rigtigheden af fremtidsscenarier for økonomisk udvikling og forbrug af fossile brændstoffer. Det er i den forbindelse tankevækkende, at hverken Alan Greenspan eller IPCC for mindre

end et år siden var i stand til at forudsige den øjeblikkelige alvorlige økonomiske krise.

Samlet betyder dette, at temperatureffekten af CO<sub>2</sub> med direkte ledsageeffekter sandsynligvis er mindre end antaget af klimamodellerne og IPCC, samt at også de nutidige temperaturændringer i høj grad styres af naturlige forhold. Dette er ikke første gang, at dette synspunkt hævdes. Et antal andre forskere er tidligere kommet til samme konklusion på tilsvarende eller anden vis. Et udvalg af relevante referencer findes i litteraturlisten.

Figuren ovenfor viser, hvor vanskeligt det er at konkludere noget sikkert om skaleringsfaktoren  $\alpha$  og temperaturindflydelsen af CO<sub>2</sub>. Ovenfor udvalgte vi med omhu de sidste 20-25 år af det 20. århundrede, fordi både CO<sub>2</sub> og temperatur steg i dette tidsrum. Ikke overraskende fandtes derfor en positiv sammenhæng med  $\alpha$  nær 1. Havde vi i stedet valgt tiden inden 1975 eller efter 2000, hvor temperaturen synker med stigende CO<sub>2</sub>, havde vi påvist en negativ sammenhæng, dvs.  $\alpha < 0$ . Dette viser med stor tydelighed, at en række andre vigtige klimafaktorer faktisk varierer i en helt anden takt end CO<sub>2</sub>, og har dominerende effekt. Hvis temperatureffekten af CO<sub>2</sub> med følgevirkninger virkelig var dominerende, og  $\alpha$  derfor stor, ville perioder længere end 2-5 år karakteriseret ved stigende CO<sub>2</sub> og faldende temperatur være undtagelsen. Figuren ovenfor viser, at sådanne perioder ikke er ualmindelige, hvorfor effekten af CO<sub>2</sub> ikke kan være dominerende på den globale temperatur. Dette tyder på en beskedent størrelse af  $\alpha$ . Men som nævnt antager klimamodellerne og

Figur og tekst reproduceret fra IPCC 2007, kapitel 3, side 253: Annual global mean observed temperatures (black dots) along with simple fits to the data. The left hand axis shows anomalies relative to the 1961 to 1990 average and the right hand axis shows the estimated actual temperature (°C). Linear trend fits to the last 25 (yellow), 50 (orange), 100 (purple) and 150 years (red) are shown, and correspond to 1981 to 2005, 1956 to 2005, 1906 to 2005, and 1856 to 2005, respectively. Note that for shorter recent periods, the slope is greater, indicating accelerated warming. The blue curve is a smoothed depiction to capture the decadal variations. To give an idea of whether the fluctuations are meaningful, decadal 5% to 95% (light grey) error ranges about that line are given (accordingly, annual values do exceed those limits). Results from climate models driven by estimated radiative forcings for the 20th century (Chapter 9) suggest that there was little change prior to about 1915, and that a substantial fraction of the early 20th-century change was contributed by naturally occurring influences including solar radiation changes, volcanism and natural variability. From about 1940 to 1970 the increasing industrialisation following World War II increased pollution in the Northern Hemisphere, contributing to cooling, and increases in carbon dioxide and other greenhouse gases dominate the observed warming after the mid-1970s. (Grafik: UVH modificeret efter IPCC 2007, kapitel 3, side 253)



IPCC ikke desto mindre, at  $\alpha$  ligger et sted mellem 1,5 og 4,6.

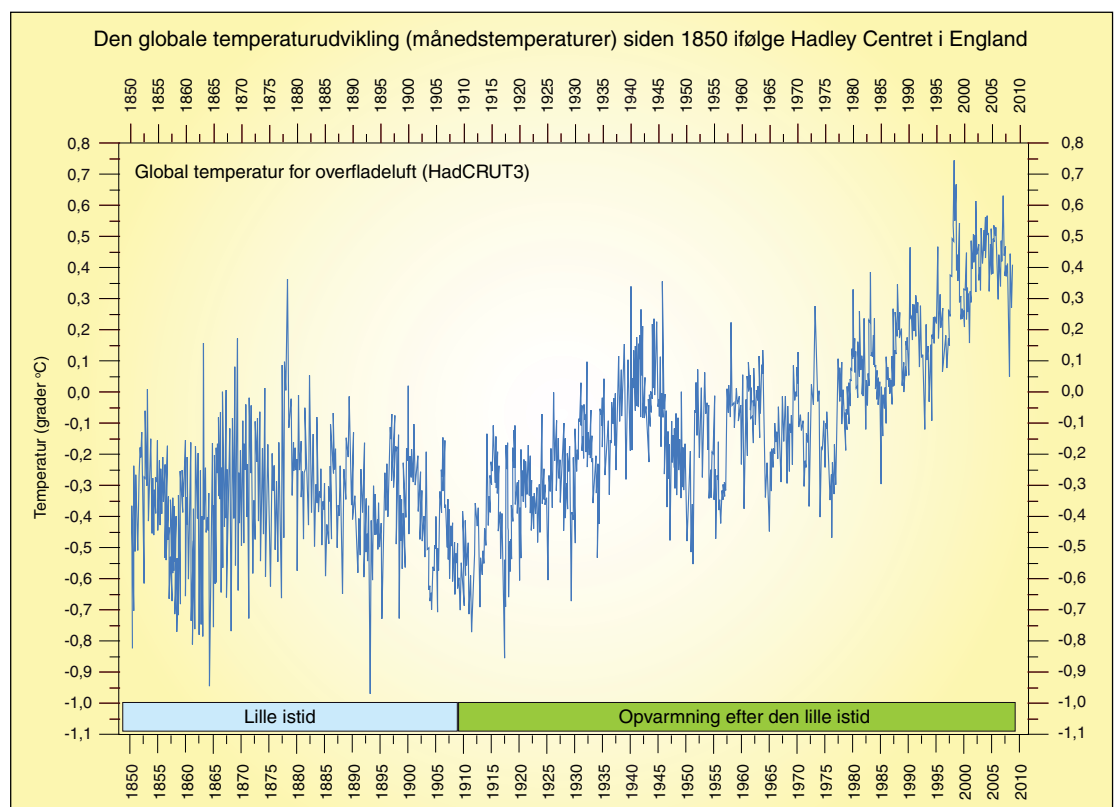
#### En berettiget indvending?

Til konklusionen om  $\text{CO}_2$ 's mindre betydende klimarolle kan fremsættes en indvending: Det nævnes ofte at temperaturstigningen siden 1975 er usædvanlig og tilmed accelererende. Det tyder på, at effekten af  $\text{CO}_2$

med direkte følgevirkninger ikke er så lille endda. IPCC (2007) udpeger specifikt temperaturstigningen efter 1975 som hurtigere end tidligere set, angiveligt fordi alle andre klimapåvirkninger herefter drukner i effekten af det forhøjede  $\text{CO}_2$ -niveau. Så hvordan harmonerer da denne temperaturstigning med konklusionen om en begrænset betydning af  $\text{CO}_2$ ? For at afklare dette spørgsmål

må vi gå længere tilbage i tiden end 1979 og derfor gøre brug af temperaturdata målt ved jordoverfladen (figuren ovenfor).

Figuren øverst viser, på hvilket grundlag IPCC karakteriserer temperaturstigningen 1981-2005 som usædvanlig og accelererende. IPCC gør i dette diagram beundringsværdige bestræbelser på samtidig at vise usikkerhedsinterval, udjævnet temperatur samt



Den globale temperatur vist som månedstemperatur, i forhold til referencerperioden 1961-1990 (Hadley Center, England). Figuren er opdateret frem til august 2008. (Grafik: UVH modificeret efter forfatterens forlæg)



diverse lineære trendlinjer, men overfloden af information bevirker beklageligvis, at de originale data kun med vanskelighed ses. Der er næppe tvivl om den gode hensigt, men som forsøg på objektiv formidling af data er figuren desværre endt som en pædagogisk katastrofe.

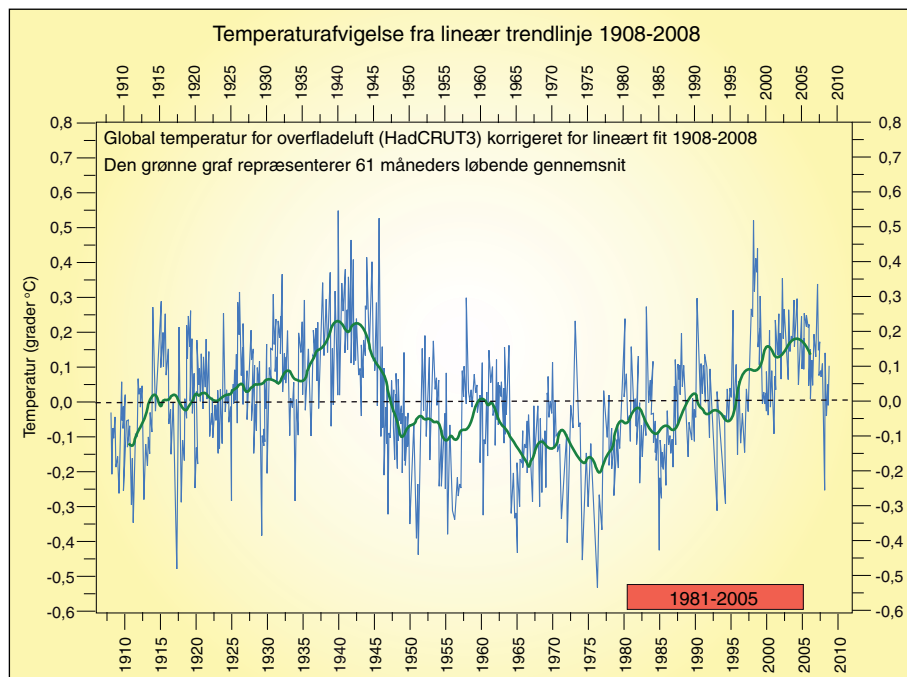
IPCC's centrale argument for at karakterisere temperaturudviklingen 1981-2005 som usædvanlig og acclererende er en sammenligning af de viste trendlinjer. Det ses tydeligt, at hældningen af linjerne tiltager, jo nærmere vi kommer på nutiden. Voilå: Den nutidige temperaturstigning kan karakteriseres som både usædvanligt hastig og tilmed acclererende.

IPCC's argumentation røber desværre et bekymrende ukendskab til basale elementer af almindelig talanalyse. Det er naturligvis således, at hvis man ønsker at sammenligne hældningen af trendlinjer, må det være tidsrum af ensartet længde, der betragtes. Det giver ingen mening at sammenligne en trendlinje beregnet for 150 år med en beregnet for 25 år, som det gøres i diagrammet. Jo kortere tidsinterval, jo større mulighed er der naturligvis for at finde en trendlinje med stor hældning. IPCC's fremgangsmåde svarer lidt til, at man sammenlignede temperaturændringen i København januar 2007 - januar 2008 med det længere tidsinterval januar 1960 - januar 2008. Naturligvis vil det korte interval ofte resultere i en trendlinje med større hældning end det længere tidsinterval, da det korte domineres af effekter af kortperiodiske variationer.

Som følge af denne forbløffende fejl må vi selv gennemføre en lille analyse for at afgøre, om den nutidige temperaturstigning virkelig er unik som hævdet af IPCC.

Figuren nederst på foregående side viser den globale temperaturudvikling (månedstemperaturer) siden 1850 ifølge Hadley Centret i England. Dette er i øvrigt de samme data, der ligger til grund for figuren øverst på foregående side (IPCC). Vi ser, at temperaturen er relativt lav frem til kort efter århundredeskiftet, hvorefter en stigning påbegyndes. Som angivet på figuren kan man tolke temperaturudviklingen derhen, at den såkaldt lille istid slutter på dette tidspunkt. Året 1908 vælges her som overgangsåret til brug for vor analyse. Det bemærkes også, at temperaturstigningen efter den lille istid et todeligt; frem til omkring 1940 og efter 1978. Spørgsmålet er da, om stigningen 1981-2005 er usædvanlig i forhold til stigningen inden 1940?

Umiddelbart ser det ikke sådan ud. Men for at besvare spørgsmålet lidt mere grundigt, kan en lineær trendlinje beregnes for alle temperaturdata efter 1908. Dernæst kan de enkelte datapunkters afstand til denne fælles trendlinje enkelt beregnes. Hvis perioden 1981-2005 kendetegnes ved usædvanligt hastig temperaturstigning, vil datapunkterne fra denne periode afsløre det ved at ligge specielt højt over trendlinjen.



Månedlig temperaturforskel mellem datapunkterne vist i figuren nederst s. 13 og en lineær trendlinje beregnet for perioden 1908-2008. Det af IPCC udpegede tidsrum 1981-2005 er fremhævet med den grå blok. Den kraftige grønne linje angiver det løbende 61 måneders gennemsnit dvs. ca. 5 år. Nul-linjen angiver punkter, der ligger på den beregnede trendlinje. Sammenlign i øvrigt med figuren nederst s. 13. (Grafik: UVH modificeret efter forfatterens forlæg)

Resultatet af denne beregning er vist i figuren ovenfor.

Datapunkterne 1981-2005 ses ikke at ligge specielt højt over 0-linjen i figuren øverst på denne side. Datapunkterne 1920-1940 ligger mindst lige så højt. Dermed kan temperaturstigningen 1981-2005 ikke karakteriseres som usædvanligt hastig, men har omtrent samme karakter som stigningen inden 1940. En klar effekt af det forhøjede CO<sub>2</sub>-niveau kan med andre ord ikke påvises på denne måde.

Dataserien er for kort til at konkludere noget sikkert om den fremtidige udvikling, men diagrammet synes at antyde en 60-70 års oscillation i den globale temperaturudvikling, pålejret den generelle stigning efter den lille istids ophør. Det er derimod ikke muligt at se tegn på en acclererende og usædvanlig temperaturudvikling i nyere tid. Snarere tværtimod.

Men hvordan med udsagnet om den acclererende temperaturstigning i nyere tid? En enkel måde at teste for dette er at plote temperaturændringen måned for måned, siden 1908. Hvis temperaturstigningen 1981-2005 var usædvanligt hastig og acclererende, måtte man forvente en gradvis udvikling i retning af flere og flere positive temperaturstigninger op mod nyere tid. Figuren øverst på næste side viser resultatet af denne analyse.

Dette diagram leder til samme konklusion som figuren ovenfor: Det er ikke muligt at identificere tegn på en acclererende temperaturstigning op mod nyere tid, og det af IPCC (2007) fremhævede tidsrum 1981-

2005 kan ikke karakteriseres som specielt på nogen måde. En klar effekt af det forhøjede CO<sub>2</sub>-niveau kan heller ikke erkendes på denne vis.

### En mere realistisk rolle til CO<sub>2</sub>

Med disse temperaturdata målt ved jordoverfladen er det med andre ord ikke muligt at afvise eller falsificere vor tidligere konklusion, baseret på satellitmålinger siden 1979: Temperatureffekten af CO<sub>2</sub> (incl. tilknyttede ledsageeffekter) er mindre end formodet af klimamodellerne og IPCC. Der kan ikke påvises tegn på en usædvanlig og acclererende global temperaturstigning i nyere tid. Dermed kan det også afvises, at CO<sub>2</sub> er en dominerende temperaturfaktor. Drivhusgassen CO<sub>2</sub> karakteriseres bedre som en bidragende faktor til temperaturændringer, på lige fod med mange andre forhold.

Der er ingen tvivl om, at den globale temperatur i øjeblikket er højere, end den har været på noget tidspunkt siden den lille istids afslutning. Dette forhold kan imidlertid ikke tages til indtægt for hypotesen om dominerende indflydelse af CO<sub>2</sub>, men kan mere enkelt forklares som resultatet af den lille istids ophør. Der står jo ingen steder skrevet, præcis hvor meget temperaturen naturligt skal stige efter ophøret af denne relativt kølige klimaperiode.

Der er imidlertid teoretisk grund til at forvente en vis temperaturstigning som følge af det øgende atmosfæriske indhold af CO<sub>2</sub>. Men med de foreliggende meteorologiske data er det indtil videre ikke muligt

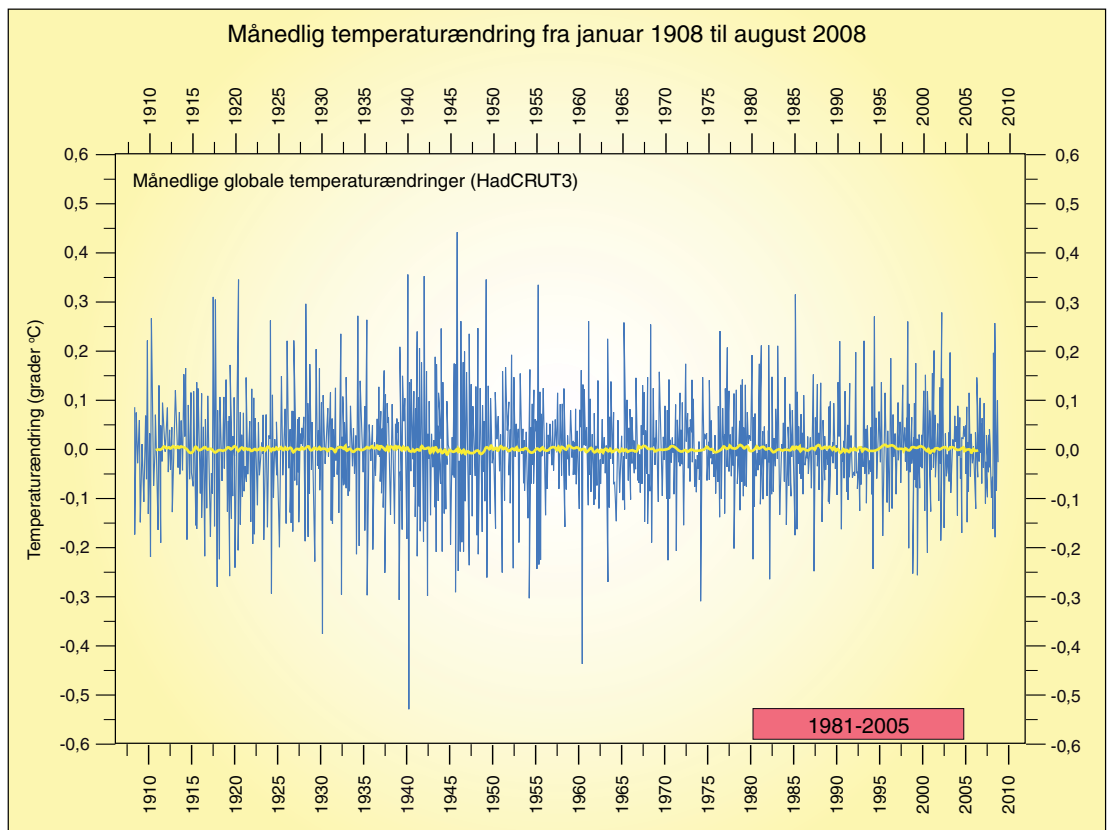


Diagram visende den månedlige temperaturændring fra januar 1908 til august 2008. Den gule linje angiver det løbende 61-måneders gennemsnit. (Grafik: UVH modificeret efter forfatterens forlæg)

at identificere en sådan påvirkning med sikkerhed. Det må derfor konkluderes, at temperatureffekten af CO<sub>2</sub> sandsynligvis er mindre end antaget af IPCC, og at et antal andre faktorer i hovedtræk fortsat styrer den observerede globale temperaturudvikling. Vort kendskab til alle relevante faktorer er åbenbart endnu ufuldstændigt.

At temperatureffekten af CO<sub>2</sub> er mindre end antaget af IPCC forklarer også relationen mellem temperatur og atmosfærisk CO<sub>2</sub>, som den ses illustreret af iskerner. Jeg er enig med Henriksen og Hinsby (2008) i synspunktet om, at den stigende mængde atmosfæriske CO<sub>2</sub> vil kunne bidrage til opvarmningen i afslutningsfaserne af istiderne. Men samtidig viser det forhold, at temperaturen ifølge iskernerne tidvis falder, mens CO<sub>2</sub> stiger – og modsat – at CO<sub>2</sub> heller ikke tidligere havde en dominerende effekt på den globale temperatur.

#### Fremtidens udfordringer

Uenigheden om klimaudvikling ligger således ikke i en fundamentalt forskellig opfattelse af CO<sub>2</sub>'s temperatureffekt. Uenigheden ligger derimod i vurderingen af, hvor stor eller lille den samlede effekt vil blive, når direkte følgeeffekter og selvstændige årsager til klimaændring medtages i helhedsbilledet. Der er heller ikke uenighed om nytten af klimamodeller generelt. Der udføres et stort og værdifuldt arbejde ved udformningen af de numeriske klimamodeller, ganske som det kan siges om forskere, der benytter andre metoder i deres arbejde. De numeriske modeller vil være en vigtig del af vor

videnskabelige hverdag også i fremtiden. Men deres formidable evne som talknuser må ikke få den psykologiske effekt, at de anses som stort set ufejlbarlige. De numeriske modeller repræsenterer derimod værdifulde forskningsredskaber på lige fod med andre forskningsteknikker. Rigtigheden af de forskellige synspunkter om fremtidens klima vil stille og roligt blive afgjort af den kommende temperaturudvikling.

Med stor sandsynlighed vil vi i løbet af de næste 100 år konfronteres med langt større problemer end effekterne af en beskeden global temperaturstigning som følge af stigende CO<sub>2</sub>. Som nævnt antyder satellitmålinger siden 1979, at temperaturstigningen forårsaget af CO<sub>2</sub> med direkte følgeeffekter vil være omkring 0,5 °C eller mindre frem til år 2100, forudsat en CO<sub>2</sub>-stigning til 520 ppm. En temperaturstigning af denne størrelsesorden er så beskeden, at der er grund til at forvente, at den mere eller mindre vil drukne i effekten af andre forhold. Temperaturudviklingen efter årtusindskiftet (figuren på side 12) antyder, at det allerede kan være i færd med at ske.

Spørger man en ældre medborger om, hvad hun eller han anser som den mest ubehagelige hændelse i løbet af det 20 århundrede, vil mange sandsynligvis svare 2. verdenskrig, atombombens udvikling, konflikten i Mellemøsten, eller måske den kolde krig og det tilhørende våbenkapløb. Der er næppe mange der vil mene at temperaturstigningen på 0,74 °C var århundredets største problem. Tværtimod. Udsigten til en mulig fremtidig temperaturstigning af sam-

me størrelsesorden eller mindre vil næppe heller afskrække mange. Ikke mindst da en fremtidig afkøling samtidig ikke kan udelukkes, bl.a. afhængigt af solens fremtidige aktivitetsniveau. Effekterne af en fremtidig afkøling er der derimod god historisk grund til at imødesee med en vis bekymring.

#### Litteraturliste:

- Christy, J. R. og Norris, W. B. 2006. Satellite and VIZ-radiosonde intercomparisons for diagnosis of nonclimatic influences, *Journal of Atmos and Oceanic Tech*, 23, 1181-1194.
- Douglass, D.H. og Knox, R. S. 2005. Climate forcing by volcanic eruption of Mount Pinatubo. *Geophys. Res. Lett.*, 32, doi:10.1029/2004GL022119.
- Douglass, D.H. og Christy, J.R. i trykken. *Limits on CO<sub>2</sub> Climate Forcing from Recent Temperature Data of Earth. Energy and Environment (in press)*.
- Forster, P. M. og Gregory, J. M. 2006. The climate sensitivity and its components diagnosed from Earth Radiation Budget data, *J. Climate*, 19, 39-52.
- Gregory, J.M., Stouffer, R.J., Raper, S.C.B., Stott, P.A. og Rayner, N.A. 2002. An observationally based estimate of the climate sensitivity, *J. Climate*, 15, 3117-3121.
- Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, report, 996 pp.*, Cambridge University Press, New York City.
- Schwartz, S. E. 2007. Heat capacity, time constant, and sensitivity of the Earth's climate system. *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2007JD008746.