

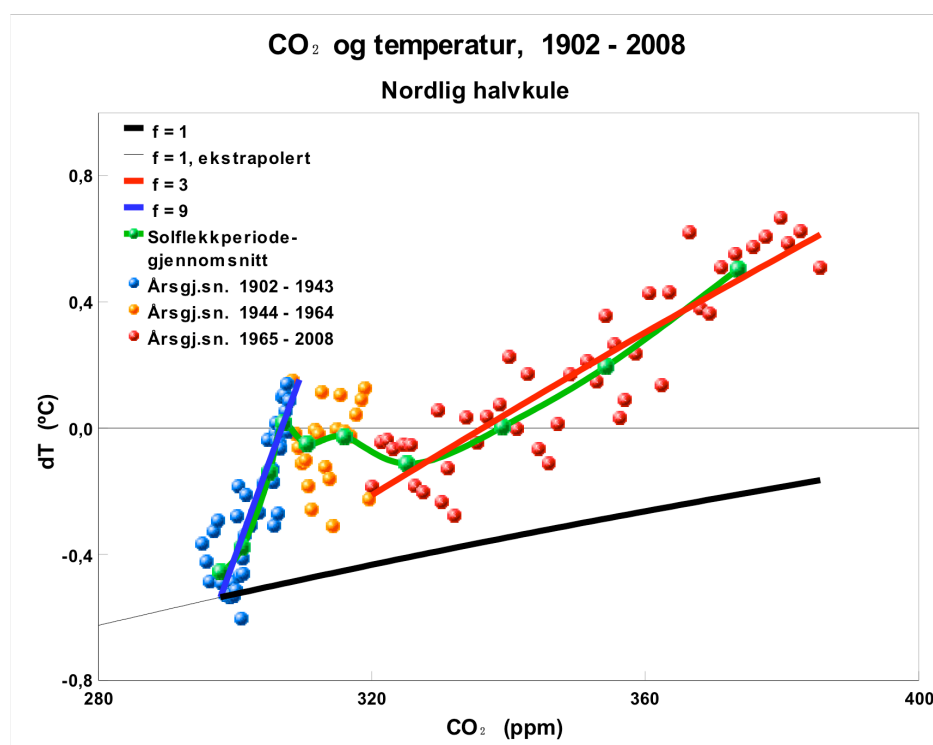
Sammenheng mellom CO₂ og temperatur.

Odd Vaage, forsker

Jan-Erik Solheim, professor (emeritus)

I kommentarer til innlegg om klimaet i forskning.no er det reist spørsmål om sammenhengen mellom CO₂ og temperatur. Vi skal i det følgende vise hvilken sammenheng som er observert, og drøfte hvorvidt dette stemmer med den teoretiske sammenheng som klimapanelet bygger sine prognoser på. Så vidt vi har brakt i erfaring er en slik analyse ikke tidligere vist. I vår analyse har vi sett på temperatur som mulig funksjon av CO₂ - og vi har sett bort fra periodiske eller kvasi-periodiske variasjoner som antakelig dominerer når vi ser på temperatur som funksjon av tid.

Vi finner at det i løpet av det siste hundreåret er lange perioder med god korrelasjon mellom CO₂ og temperatur, men at det er forskjell mellom den nordlige og sørlige halvkule. Vi bruker de samme verdier for CO₂ som klimapanelet bruker, men understreker at det ikke er bevist at all økningen i CO₂ i atmosfæren skyldes mennesker. Størrelsesorden 4% av atmosfærisk CO₂ kan med sikkerhet spores til forbrenning eller menneskelig virksomhet (forskning.no nr 189323, 26 juli 2008) .



Figur 1: Temperaturendring på den nordlige halvkule siden 1902 (HadCRUT3) som funksjon av årlig gjennomsnitt av målt eller antatt atmosfærisk CO₂ i forhold til normalperioden 1960-90. Den grønne kurven er trukket gjennom middeltemperatur og midlere CO₂ innhold i solflekkperiodene i denne tiden. Den sorte linjen viser en teoretisk temperatureffekt ($f = 1$). De blå, gule og røde punktene representerer årlige gjennomsnitt av temperatur og CO₂ i henholdsvis de fire første, de to midterste og de fire siste solflekkperiodene. Årlige CO₂ verdier før 1958 er funnet ved interpolering av iskerne-resultater fra Siple, Antarktis. De fargete linjene, med forskjellige forsterkningsfaktorer, er forklart i teksten.

Litt teori

For å beregne virkningen av økning av CO₂ i atmosfæren bruker klimapanelet en formel for ekstra strålingspådriv utarbeidet av G. Myhre og medarbeidere (1998):

$$\text{Ekstra strålingspådriv: } dF = 5.35 \times \ln(C/C_0) \quad \text{W/m}^2 \quad (1)$$

I denne formelen er C mengden av CO₂ i atmosfæren målt i ppm (milliondeler). C_0 er en referansemengde for CO₂ som i klimapanelets 4de rapport (AR4 2007) er satt til 379 ppm. Det ekstra strålingspådriv antas å kunne påvises der stråling slipper ut fra atmosfæren i ca 10 km høyde, men dette er vanskelig å måle. Isteden beregnes endringen i temperatur ved bakkenivå ved kompliserte klimamodeller. Forenklet fører disse til følgende formel:

$$dT = f \times 0.265 \times dF \quad ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Tallet 0.265 forteller hvor stor temperaturendring vi får per ekstra W/m² der strålingen slippes ut av fra atmosfæren. Dette kalles den *teoretiske temperatureffekt* og beregnes ved Stefan-Boltzmanns strålingslov. Faktoren f er en *forsterkningsfaktor* som gir virkningen nede på bakken. Dersom f er større enn 1 har vi en positiv tilbakekopling. Er den mindre enn 1 har vi en negativ tilbakekopling.

Et begrep som brukes av klimapanelet er den såkalte *klimafølsomheten*. Den defineres som temperaturendring ved dobling av CO₂ og blir:

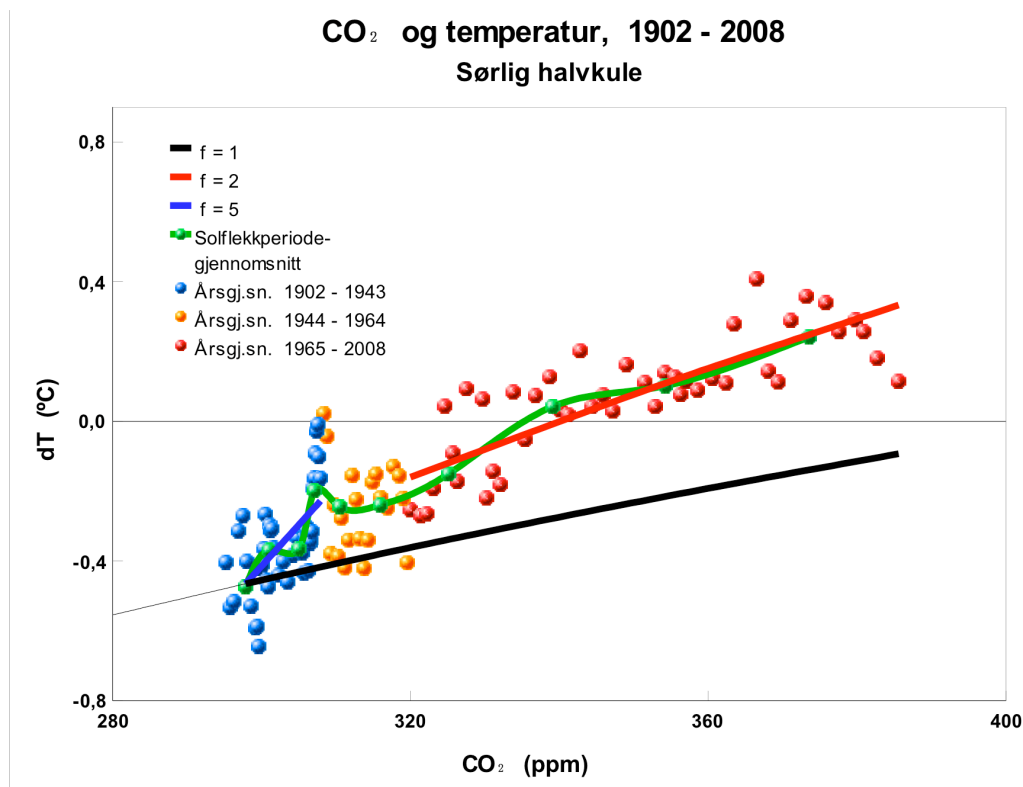
$$dT_{2\times\text{CO}_2} = 0.98 \times f \quad ^\circ\text{C} \quad (3)$$

Med klimapanelets f -verdier blir klimafølsomheten 2 til 4.5 °C, og en "mest sannsynlig" temperaturstigning på 3 °C brukes i AR4 som mål på hva som kan komme til å skje mellom år 2090 og 2100 hvis vi ikke reduserer CO₂ utslippene.

Observasjoner

Figur 1 viser temperaturavvik på den nordlige halvkule som funksjon av CO₂ mengde i atmosfæren, slik det er angitt i de kilder klimapanelet bruker. De grønne punktene viser middelerdi for CO₂ og temperatur i de enkelte solflekkperioder. Dette har vi inkludert for å vise at sammenhengen mellom CO₂ og temperatur ser ut til å endre seg med solflekkperiodene. Lengden på solflekkperiodene har variert mellom 9.5 og 12.5 år siden 1902.

Den sorte linjen viser den teoretiske temperatureffekt ($f = 1$). CO₂ og temperatur for tre forskjellige tidsintervall er markert med tre ulike farger. I de fire første solflekkperiodene 1902-43 (blå punkter) endret temperaturen seg sterkt mens CO₂ innholdet i atmosfæren ifølge AR4 viste en beskjeden økning. En forsterkningsfaktor $f = 9$ (9.3 ± 2.1 , blå linje) passer best til observasjonene. Mellom 1943 og 1965 (gule punkter) er forsterkningsfaktoren negativ. Temperaturen gikk ned mens CO₂ mengden økte. For de fire siste solflekkperiodene, fra 1965 til nå, passer en forsterkningsfaktor $f = 3$ (3.1 ± 0.23 , rød linje) best til observasjonene.



Figur 2: Temperaturendring på den sørlige halvkule siden 1902 (HadCRUT3) som funksjon av målt eller antatt atmosfærisk CO₂. Se figur 1 for forklaringer.

Figur 2 viser den tilsvarende sammenhengen for den sørlige halvkule. En forsterkningsfaktor $f=5$ (4.9 ± 1.8 , blå linje) passer best til observasjonene i de fire første solflekkperiodene 1902-43. For de fire siste solflekkperiodene, fra 1964 til nå gir forsterkningsfaktoren $f=2$ (1.7 ± 0.2 , rød linje) best tilpasning.

Ser vi kloden under ett, finner vi en midlere forsterkningsfaktor på $f=2.4$, det vil si en klimafølsomhet på 2.4°C for data etter 1964. I AR4 står det at klimafølsomheten sannsynligvis ligger mellom 2 og 4.5°C , med et beste estimat på 3°C . Dette er ikke langt fra vårt resultat for årene etter 1964.

Problemer med CO₂ hypotesen

De beregnede f -verdiene gir en klimafølsomhet på 2, 3, 5 og 9°C . De to første er innenfor klimapanelets grenseverdier, mens den siste er langt over klimapanelets øvre grenseverdi.

Er det en felles f -verdi for hele kloden og hele perioden? Statistiske beregninger for den nordlige halvkule viser at sannsynligheten for at $f=9$ linjen skal være lik $f=3$ linjen, er mindre enn 0.001. Det vil si at det er 99.9 % sannsynlig at de er forskjellige.

Klimapanelet antar at temperaturstigningen i de første 40 årene (0.7°C på den nordlige halvkule, $f=9$) ikke skyldes CO₂, men andre naturlige årsaker. Det er vi enig i. Men det kan bety at også temperaturstigningen i de siste 40 årene (0.8°C på den nordlige halvkule, $f=3$) kan skyldes de samme naturlige årsakene, - og ikke CO₂

Sammenlikner vi utviklingen på den nordlige halvkule med den sørlige, finner vi at det er 99.9% sannsynlig at $f=3$ og $f=2$ linjene er forskjellige. Dette svekker ytterligere hypotesen om at CO₂ er den dominerende årsak til temperaturøkningen i de siste 40 år.

Figur 1 og 2 kan tolkes som om CO₂ har forskjellig virkning på nordlig og sørlig halvkule. Riktignok er det større landområder og befolkning på den nordlige halvkule, men CO₂ er en gass som er jevnt fordelt i atmosfæren (godt blandet) - og da bør den virke uavhengig av tid og ha samme virkning på de to halvkulene. Når vi i to tidsperioder, hver med en lengde på vel 40 år, finner klimafølsomheter som statistisk er svært forskjellige fra hverandre, utelukker dette langt på vei at CO₂ er den dominerende årsak til temperaturøkningen.

CO₂ øker jevnt fra år til år i hele den analyserte 100-årsperioden, så CO₂ er et indirekte mål på tiden. De meget gode, men tilfeldige, sammenhengene mellom CO₂ og temperatur i de to periodene i vår analyse, kan derfor bety at det er en eller flere andre årsaker som også varierer over tid, og som dominerer temperaturutviklingen.

Et annet problem for CO₂ hypotesen er at vi ikke har hatt global temperaturstigning siden 1998, mens CO₂ innholdet i atmosfæren nå øker med 2 ppm per år. Dette bestyrker antagelsen av at det er annet enn CO₂ som styrer klimaet.

Økning i CO₂ innholdet i atmosfæren kan i tillegg til menneskelige utslipp, også skyldes vulkanutbrudd, kilder i havbunnen og temperaturøkninger i havet nå eller tidligere. Fra iskjernemålinger på Grønland og i Antarktis er det vist at CO₂ innholdet øker etter temperaturøkninger med en forsinkelse på 500-1000 år. Vi kan derfor ikke se bort fra at den CO₂ økningen vi nå observerer skyldes en tidligere varmere periode.

For et sted i Midt-England finnes det temperaturmålinger fra 1659 frem til i dag. Denne serien viser en temperaturøkning på 0.24 °C per århundre. Hvis dette skyldes CO₂ bør det være like stor endring i alle årets måneder. Imidlertid viser sommertemperaturen (juni) overhodet ingen endring (i gjennomsnitt) på 350 år. Betyr dette at CO₂ kun har virkning i vintermånedene? Eller står vi overfor et fenomen hvor varmere vintre kan skje av andre årsaker?

Temperaturmålinger

Men hva med temperaturen? Det er en kjensgjerning at de fleste temperaturmålinger gjøres der folk bor, og at disse målingene påvirkes av endring i landskapet og byenes betong og asfalt. Et viktig arbeid (McKittrick m. fl, 2007) påviser en sammenheng mellom temperatur- økning og en rekke sosiale og økonomiske parametre. De konkluderer med at en halvdel av den globale temperaturøkningen over land skyldes regionale temperaturendringer av sosiale og økonomiske årsaker

Da begge halvkuler er like utsatt for CO₂ påtrykk bør vi ha samme klimafølsomhet for CO₂ på den nordlige og sørlige halvkule – i hvert fall over havet. Ut fra fordelingen av land og hav på de to halvkuler, finner vi en felles klimafølsomhet over hav på

1.8°C. Differensen fra 2.4 °C som vi fant globalt, kan skyldes en bebyggelseskomponent på 0.6 °C.

Det er også funnet en sammenheng mellom antall målestasjoner og middeltemperatur. Før 1990 var det over 12 000 målestasjoner, mens det nå er under halvparten. Forklaringen er at et stort antall stasjoner er blitt nedlagt, særlig etter Sovjetunionens fall. Det er påvist en lineær sammenheng mellom antall stasjoner og middeltemperaturen disse stasjonene måler – færre stasjoner gir høyere temperatur. Dersom det korrigeres for redusert antall stasjoner blir temperaturstigningen i årene 1950-2000 ca 0.1 °C per tiår.
(http://homepage.ntlworld.com/jdrake/Questioning_Climate/_sgg/mm_1.htm)

Solaktivitet og kosmisk stråling

En analyse gjort av Shaviv (2005) basert på sammenheng mellom solaktivitet, kosmisk stråling og temperatur, konkluderer med at økt solaktivitet førte til mindre kosmisk stråling, færre skyer og en temperaturøkning på 0.47 ± 0.19 °C i det 20 århundre, av en total endring på 0.61 ± 0.42 °C. Shaviv finner en klimafølsomhet for CO₂ på 1.3 ± 0.3 °C basert på flere paleoklimatiske datasett og endringer etter siste istid.

Vi har funnet en global klimafølsomhet på maksimalt 2.4 °C basert på sammenhengen mellom CO₂ og temperatur i de siste 40 år. Når vi trekker en bebyggelseskomponent på 0.6 °C ifra dette, kan resten på 1.8 °C forklares som summen av Shavivs CO₂ følsomhet på 1.3 °C og 0.5 °C bidrag fra sol/kosmisk stråling og andre effekter.

En prognose for solaktiviteten de neste hundre år sier at den vil bli redusert til sitt normale nivå slik den var i det 19. århundre (de Jager og Duhau, 2009). De 0.5 °C som skyldes ekstrem solaktivitet i det 20. århundre, vil da falle bort. Vår analyse støtter derfor Shavivs konklusjon som gir en temperaturøkning på ca. 1.3 °C, hvis CO₂ innholdet i atmosfæren dobles.

Men i tillegg viser vår analyse av sammenhengen mellom CO₂ og temperatur i de første 40 år av det forrige århundre at det kan være andre, naturlige årsaker til klimaendringene. Disse årsakene kan redusere betydningen av CO₂ ytterligere.

Konklusjon

Vår konklusjon blir derfor at de prognoser som klimapanelet gir i AR4 er basert på klimamodeller som gir for stor klimafølsomhet. Når klimafølsomhetsfaktoren slik den er definert i AR4, varierer mellom 2 og 9, og til tider er negativ kan ikke CO₂ økningen i atmosfæren være hovedårsaken til temperaturvariasjoner i hele perioden 1902-2008. Det må være andre, naturlige årsaker som dominerer de globale klimaendringer. I tillegg er det lokale og regionale antropogene effekter.

Hvis dagens innhold av CO₂ i atmosfæren dobles, vil det føre til en temperaturøkning på maksimalt 1.3 °C. Med denne klimafølsomheten finner vi at de 4% av atmosfærisk CO₂ som med sikkerhet kan spores til forbrenning, bidrar med en global temperaturøkning på ca. 0.05 °C.

Litteraturliste

CO₂ data fra iskjernemålinger (Siple): CDIAC:
<http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/siple.html>

CO₂ data fra 1958: ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_mm_mlo.txt

de Jager C., Duhau, S. "Forecasting the parameters of sunspot cycle 24 and beyond"
2009, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 71, 239

McKittrick, R. R., Michaels, P. J. "Quantifying the influence of anthropogenic surface processes and inhomogeneities on gridded global climate data, 2007, Journal of Geophysical Research, 112, D24S09

Myhre, G. m fl. "New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases", 1998, Geophysical Research Letter 25, 2715

Shaviv, N. J. "On climate response to changes in the cosmic ray flux and budget", 2005, Journal of Geophysical research, 110, A08105

Temperaturdata: (HADCrut3) HadCRUT3:
<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>