

Menneskeskabte emissioner af CO₂ medfører en signifikant og potentielt katastrofal opvarmning

Af Philipp von Hessberg, Ph.D. i Atmosfærækemi

Følgende indlæg er et modsvar til Ole Humlums *Klima og CO₂* bragt i *GeologiskNyt* nr. 2-2008.

Jeg vil gøre rede for CO₂'s væsentlige betydning for det globale klima, som Ole Humlum (OH) stiller spørgsmålsteget ved. OH skriver fx: "Det er som nævnt sandsynligt, at vi overvurderer temperaturbetydningen af CO₂, og at nutidens klimaændringer hovedsageligt skyldes naturlig variation".

OH synes, at grundlaget for politiske beslutninger for at mindske CO₂-emissionerne er for vagt og er kritisk over for forsigtighedsargumenter: "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."

Konsekvenser kræver modforholdsregler

OH går – meget fornuftigt – ind for ikke at udøve skade på den nationale og internationale økonomi. Ganske som risikostyringsekspert i forsikringer, banker og forhåbentlig regeringer vil gøre, mener jeg, at modforholdsregler mod mulige negative hændelser (i yderste konsekvens = katastrofer) må være af et omfang, der er proportionalt med sandsynligheden for hændelsen ganget med omkostningen ved hændelsen (Man kan så eventuelt arbejde med en diskonteringsrate, der reelt betyder, at hændelser langt ude i fremtiden ikke bekymrer én). Menneskeskabte klimaændringer kan få ganske dramatiske konsekvenser: Vandstandsstigninger, tab af økosystemer og forhøjet frekvens af tropiske storme og andre ekstreme vejrforhold samt fare for vandforsyningen og landbruget i de varme lande.

Det kan blive meget dyrt og selv en relativt lille sandsynlighed koblet med katastrofale konsekvenser bør afføde modforholdsregler. Mange modforholdsregler (energiebeparelser, teknologiforspring i vedvarende energi...) er billige, fornuftige og vil alligevel tjene sig hjem på kort tid. Det kan være, at det ikke bliver så dyrt for os i Europa at tilpasse os et varmere klima, men mange steder i tropiske og subtropiske

egne vil det blive meget dyrt (tropheer bliver oversvømmet, Bangladesh bliver offer for flere storme, Afrika vil opleve mere tørke...).

Tal på klimasensitiviteten

Ingen klimaforsker er i tvivl om, at Jordens overfladetemperatur ville være i gennemsnit minus 18 °C uden drivhuseffekt, og den er plus 15 °C med (altså en forskel på 33 °C). OH betvivler da heller ikke drivhuseffekten og CO₂'s funktion som drivhusgas; han sår bare tvivl om størrelsen af CO₂'s klimapåvirkning. Lad os kigge på nogle tal: Ifølge OH er vanddamp ansvarlig for 75 % - 95 % af drivhuseffekten. Resten må skyldes andre drivhusgasser (dvs. 1,00 - 95 % = 0,05 og 1,00 - 75 % = 0,25). De andre drivhusgasser, af hvilken CO₂ utvivlsomt er den kraftigste, må da selv ifølge OH stå for:

$$\begin{aligned} &33 \text{ °C} \times (0,05 - 0,25), \text{ dvs.} \\ &33 \text{ °C} \times 0,05 \quad \text{til} \\ &33 \text{ °C} \times 0,25 \quad \text{Altså} \\ &= 1,7 \text{ til } 8,3 \text{ °C.} \end{aligned}$$

Selvom klimaeffekten af CO₂ er logaritmisk, betyder det, at den ikke kan være helt marginal.

Lad os udføre en mere velfunderet beregning af CO₂'s direkte klimapåvirkning:

Ifølge Myhre et al.'s¹⁾ detaljerede strålingsberegninger er påvirkningen af strålingsbalancen (ΔF) som følge af en ændret CO₂-koncentration:

$$\Delta F = 5,35 \text{ Wm}^{-2} \times \ln \left[\frac{[\text{CO}_2]_t}{[\text{CO}_2]_0} \right],$$

således fører en fordobling af [CO₂] til en ændring i strålingsbudgettet på 3,7 Wm⁻² (W = watt, m = meter.). Jvf. Stefan Boltzmanns lov er klimasensitiviteten (λ), hvis man ignorerer alle tilbagekoblingsmekanismer (feedback-processer):

$$\lambda = \frac{1}{4 \times \sigma \times T_e^3} = 0,26 \text{ °CW}^{-1} \text{ m}^2,$$

(T = temperatur, Stefan-Boltzmanns konstant: $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ °C}^{-4}$), således fås for en fordobling af CO₂-koncentrationen en temperaturstigning på 1,0 °C ($\Delta T = \Delta F \cdot \lambda$). Tilbagekoblingsmekanismer kan da enten forstærke denne effekt (positiv feedback) eller svække effekten (negativ feedback).

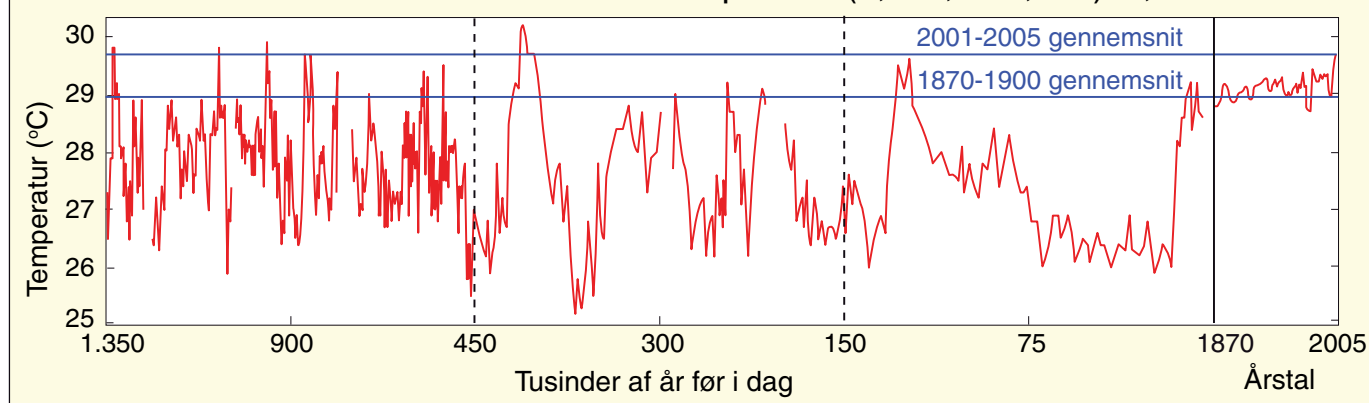
I Jordens klima er der kraftige positive feedback-mekanismer. OH nævner selv den mest væsentlige: Vanddamp. Observationer viser, at atmosfærens indhold af vanddamp rimeligt nøjagtigt svarer til en fastholdt relativ luftfugtighed^{2,3)}. En ændring i lufttemperaturen på 1 °C resulterer i en ændring i koncentrationen af vanddamp på ca. 7 % (http://en.wikipedia.org/wiki/Water_vapor). En sådan ændring i indholdet af vanddamp resulterer i en ændret klimasensitivitet på ca. 0,5 °CW⁻¹m² (Det er resultatet af en direkte strålingsberegning baseret på H₂O's målte absorptionstværsnit) – dvs. en fordobling i forhold til situationen uden feedback, som vil betyde en temperaturstigning på 2 °C som følge af en fordobling af CO₂-koncentrationen. Andre feedbackprocesser spiller en rolle, men mange af dem vil som fx is-albedo-feedback-mekanismen også være positive og give ophav til en endda større klimasensitivitet.

OH påpeger rigtigt, at modellernes anvendte klimasensitivitet er indbyrdes forskellige. Alle seriøse tredimensionale modeller opererer med klimasensitiviteter i intervallet (0,4 - 1,2) °CW⁻¹m²⁴⁾ svarende til temperaturstigninger på 1,5 °C - 4,5 °C for et fordoblet atmosfærisk CO₂-indhold. Sæsonvariationer i temperaturen⁵⁾, den oplagrede energimængde i oceanerne sammen med den observerede temperaturtrend over de sidste 140 år⁶⁾ og temperatur- og CO₂-proxydata fra de sidste 420 mio. år⁷⁾ er blevet anvendt til at beregne sandsynlighedsfordelinger for klimasensitiviteter og alle tre studier er kommet frem til, at klimasensitiviteten med mere end 95 % sandsynlighed må være større eller lig med 0,4 °CW⁻¹m².

CO₂'s væsentlige betydning

OH skriver: "Små, systematiske ændringer i Jordens bane om solen forklarer meget af tidsforløbet for de store ændringer mellem istider og mellemistider." OH synes således at mene, at CO₂ ingen væsentlig rolle spiller for temperaturforandringerne mellem istider og mellemistider. Det er dog desværre sådan, at ændringerne i Jordens bane om solen giver ophav til ændringer i Jordens strålingsbalance på maks. 0,7 Wm⁻² i årligt og globalt gennemsnit⁸⁾, hvilket uden positive feedback-mekanismer vil føre til temperaturændringer på ikke mere end 0,2 °C – de faktiske udsving var dog på ca.

Vest-ækvatorialt Stillehav – overfladetemperatur (0,3°N, 159,4°Ø): 1,35 mio. år



Moderne overfladetemperaturer i det vestlige ækvatoriale Stillehav sammenlignet med palæoklima-proxydata (Mg fra foraminifera skaller). Nye data er femårs-gennemsnit, mens palæoklimadata har en opløsning på ca. 1.000 år. Klimadata fra regionen omkring ækvator svarer typisk væsentlig bedre til den globale gennemsnitstemperatur end temperaturen ved polerne. (Grafik: UVH modificeret efter figur 5 fra (Hansen et al., 2006, Copyright: PNAS))

2,5 °C (se figuren ovenfor). CO₂ (samt CH₄ og N₂O) virker forstærkende på denne effekt. Det er uden betydning for størrelsen af CO₂'s bidrag til opvarmningen, at den oprindelige (svage) udløser for overgangen fra en istid til en mellemistid var en ændring i Jordens bane om solen. En sådan (svag) opvarmning initierer frigivelse af CO₂ fra oceanerne (pga. lavere opløselighed ved højere temperatur), som så fører til en yderligere opvarmning, osv.

OH mener fejlagtigt, at det forhold, at dagens CO₂-koncentrationer er højere end i Eem-tiden for 125.000 år siden, samtidig med at dagens temperaturer er lavere end i Eem-tiden, peger på, at CO₂ ikke kan have en kraftigt opvarmende effekt. Forklaringen er termisk træghed!

James Hansen fra NASA har vist, at der for tiden sker en stor oplagring af varme i oceanerne, og at Jorden dermed er i væsentlig energi-ubalance. Det betyder, at jordoverfladen vil opvarmes med yderligere 0,6 °C som følge af en langsom indstilling af strålingsligevægt selv ved konstant atmosfærisk indhold af drivhusgasser⁹⁾. Forklaringen er helt analog med det, vi oplever hver sommer: Juli og august er varmere end tiden omkring sommersolhverv pga. Jordens termiske træghed.

Farlig opvarmning & vandstandsstigninger

Selv en opvarmning på kun yderligere 1 °C vil sandsynligvis medføre en global temperatur, der er højere end temperaturen har været nogensinde i de sidste 1,4 mio. år (se figuren ovenfor). Alt tyder på, at temperaturen kommer til at stige endnu mere. En stabilisering af CO₂ på 500 ppm vil medføre en yderligere opvarmning på 0,4 °C, selv med en antaget klimasensitivitet på kun 0,26 °CW⁻¹m⁻². Summen af denne yderligere opvarmning og den 'opsparede' opvarmning på 0,6 °C vil da være 1 °C over Jordens nuværende temperatur – selv uden yderligere emissioner af

andre drivhusgasser som CH₄ og N₂O.

Vandstanden for ca. 125.000 år siden var ca. 4 m højere end i dag¹⁰⁾. Der er god grund til at tro, at en tilsvarende høj temperatur som for 125.000 år siden atter vil medføre en tilsvarende vandstandsstigning. IPCC forudsiger vandstandsstigninger på under en meter inden for de næste hundrede år, men vandstanden viser sig at stige hurtigere, end IPCC har regnet med, da forskerne ikke kan modellere iskappernes afsmeltning – og hvad med tiden efter 2100?

James Hansen peger på, at klimasensitiviteten kan blive så høj som 1,5 °CW⁻¹m⁻², hvis feedback-mekanismer, der involverer afsmeltning af Antarktis og Grønlands indlandsis, drivhusgas-feedback (relateret til ocean-opblanding) og destabilisering af methan-hydrater kommer i spil¹¹⁾. Så kan stigninger af Jordens gennemsnitstemperatur på 6 °C og mere følge.

Der står meget på spil, lad os ikke spille hasard med vores børns og børnebørns fremtid! Konsekvenserne kan blive endog meget alvorlige ved bare at fortsætte udledningerne af drivhusgasser. Vi bør udvise rettidig omhu og forsigtighed og tage modforholdsregler mod en mulig katastrofe, selvom vi ikke kan være 100 % sikre på klimamekanismerne.

Jeg takker Prof. Ole John Nielsen og Charlotte Stenby for nyttige diskussioner under tilblivelsen af dette svar.

Referencer:

- ¹⁾ Myhre, G., et al.(1998). New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases, *Geophysical Research Letters*, 25, 2715-2718
- ²⁾ Rind, D., et al.(1991). Positive water vapor feedback in climate models confirmed by satellite data, *Nature*, 349, 500-503

³⁾ Soden, B. J., et al.(2002). Global Cooling after the eruption of Mount Pinatubo: A test of climate feedback by water vapor, *Science*, 296, 727-730 <http://www.gfdl.noaa.gov/reference/bibliography/2002/soden0201.pdf>

⁴⁾ Houghton, J. T., et al.(2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*.

⁵⁾ Knutti, R., et al.(2006). Constraining climate sensitivity from the seasonal cycle in surface temperature, *Journal of Climate*, 19, 4224-4233 <http://www.cgd.ucar.edu/ccr/knutti/papers/knutti06jc.pdf>

⁶⁾ Gregory, J. M., et al.(2002). An observationally based estimate of the climate sensitivity, *Journal of Climate*, 15, 3117-3121 <http://www.gfdl.gov/reference/bibliography/2002/jmgregory0201.pdf>

⁷⁾ Royer, D. L., et al.(2007). Climate sensitivity constrained by CO₂ concentrations over the past 420 million years, *Nature*, 446, 530-532

⁸⁾ Lorius, C., et al.(1990). The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming, *Nature*, 347, 139-145 http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1990/1990_Lorius_et_al.pdf

⁹⁾ Hansen, J., et al.(2005). Earth's energy imbalance: Confirmation and implications, *Science*, 38, 1431-1436

¹⁰⁾ Overpeck, J. T., et al.(2006). Paleoclimate evidence for future ice-sheet instability and rapid sea-level rise, *Science*, 311, 1747-1751

¹¹⁾ Hansen, J., et al.(2007). Climate change and trace gases, *Philosophical Transactions of The Royal Society, A*, 365, 1925-1954 <http://journals.royalsociety.org/content/13h462k7p4068780/fulltext.pdf>

Figur) Hansen, J., et al.(2006). Global temperature change, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 14288-14293 <http://www.pnas.org/content/103/39/14288.full.pdf+html>