

Klimapåvirkninger og -ændringer

Eigil Kaas, Danmarks Meteorologiske Institut.

Jordens middeltemperatur

Jordens klima styres især af følgende processer:

1. Den samlede mængde solstråling. Denne direkte mængde af solenergi varierer dels på grund af variationer i jordens bane om solen, dels på grund af variationer i solens aktivitet. Jo mere sollys, der tilføres Jorden, jo varmere vil det – alt andet lige – blive.

2. Størrelsen af refleksionen af solstråling, dvs. hvor stor en mængde solstråling, som kastes tilbage til verdensrummet og dermed ikke kan opvarme jord, luft og hav. Det er jordoverfladens udseende og atmosfærens sammensætning (inklusive skyer og partikler), der bestemmer, hvor meget solstråling, der tilbagekastes. Is- og snedækkede områder tilbagekaster meget sollys, mens det meste sollys, der når oceanernes overflade, absorberes og opvarmer havet. Hvide skyer (især lavtliggende skyer med mange små skydråber) tilbagekaster en meget stor del af sollyset. Højtliggende tynde isskyer tillader derimod passage af det meste af solstrålingen.

3. Styrken af drivhuseffekten (se boks). Drivhusgasserne og skyerne virker som isolerende lag, der hæver temperaturen. Jo kraftigere drivhuseffekt, jo varmere bliver det ved jordoverfladen og i det meste af atmosfæren. Det kan dog vises, at temperaturen i de øvre lag af atmosfæren vil aftage som følge af forstærket drivhuseffekt.

De observerede klimavariationer

Klimaet har varieret til alle tider som beskrevet andre steder i dette nummer af Kvant. De fleste kender f.eks. til istiderne, som med ca. 100.000 års mellemrum har domineret klimaet i den sidste million år. Men der har også været mindre variationer i nyere tid. Figur 1a er baseret på [1] og viser variationer i globale gennemsnitstemperaturer i atmosfæren i de sidste 1000 år estimeret ud fra en række direkte og indirekte temperaturindikatorer. Figur 1b viser, at de sidste 100 års temperaturstigning er sket i to omgange, først fra ca. 1910 til 1940 og siden fra ca. 1975 til nu [2]. Der er også målt temperaturstigninger et par km oppe i atmosfæren fra ca. 1960 til nu, som det ses af figur 1c [2]. Dog er stigningen her ikke tydelig i de sidste 20 år. Forholdene omkring de atmosfæriske temperaturmålinger diskuteres yderligere i [3]. Det konkluderes bl.a. der,

1. at forskellen i temperaturstigning nær jorden og lidt oppe i atmosfæren er reel (den er altså ikke en konsekvens af f.eks. målefejl eller af, at byområder er vokset op omkring målestationerne),

Drivhuseffekten

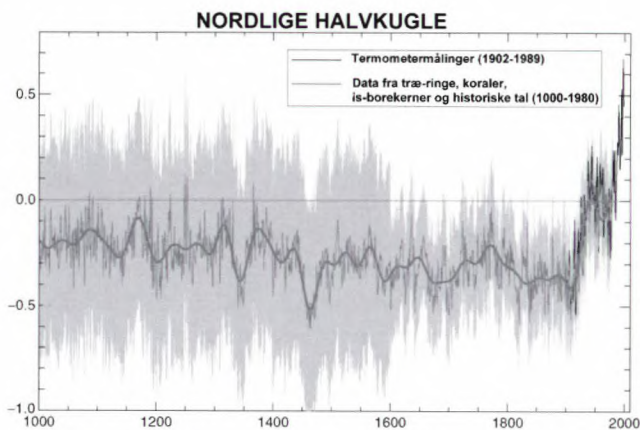
Det absorberede sollys opvarmer Jorden. Jorden slipper af med denne varme ved at udstråle infrarød stråling (varmestråling) til rummet. Hvis der ikke var nogen atmosfære, ville temperaturen ved jordoverfladen være mindst 30 °C lavere, end den faktisk er. En af de væsentligste årsager til denne forskel er drivhuseffekten, som altså er en naturlig effekt, der er afgørende for de nuværende former for liv på Jorden. Drivhuseffekten virker ved, at bestemte luftarter (drivhusgasserne) og skyerne absorberer en del af den varmestråling, der kommer nedefra. Dermed opvarmes atmosfæren. Atmosfæren slipper af med denne varme igen ved at drivhusgasser og skyer udstråler varmestråling både opad og nedad mod Jorden. Drivhusgasserne og skyerne virker på denne måde som en slags isolerende lag, der holder på varmen i atmosfæren, oceanerne og jordoverfladen. Temperaturen bliver således højere, end den ville være uden en atmosfære. De vigtigste drivhusgasser er vanddamp, kuldioxid, metan, lattergas, CFC-gasser (freongasser) og ozon. Per molekyle er vanddamp ikke særlig effektiv, men da denne gas forekommer i store koncentrationer i atmosfæren, er det den vigtigste drivhusgas.

2. at årsagen til forskellen sandsynligvis er en kombination af såkaldt interne klimafluktuationer (se afsnit 3 nedenfor), af udtynding af stratosfærens ozonlag, af vulkansk indflydelse og måske af varierende solaktivitet.

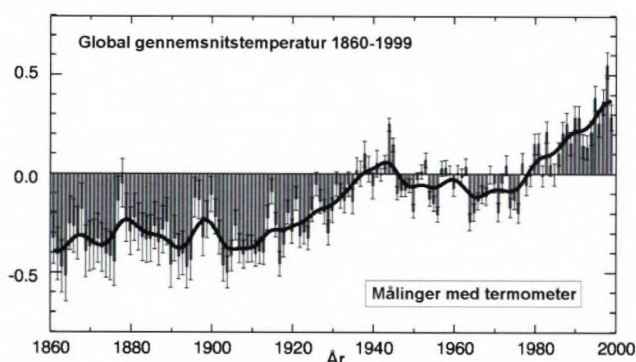
Figur 1d viser temperaturen i den nedre del af stratosfæren (fra 15–20 km's højde) [2]. Det ses, at der er sket et fald i temperaturen i denne højde. Faldet er afbrudt af kortvarige stigninger umiddelbart efter nogle store vulkanudbrud. Det skal bemærkes, at længere nede i atmosfæren og ved overfladen giver vulkanudbruddene en ret kortvarig afkøling. I den øvre del af stratosfæren op til 50 km's højde (ikke vist) er det generelle temperaturfald meget stort. Selv om satellitmålingerne er usikre i denne højde, ser det dog ud til at faldet over de sidste 20 år har været ca. 5 °C.

Hvilke processer får klimaet til at variere?

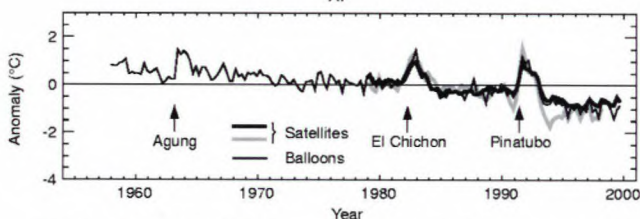
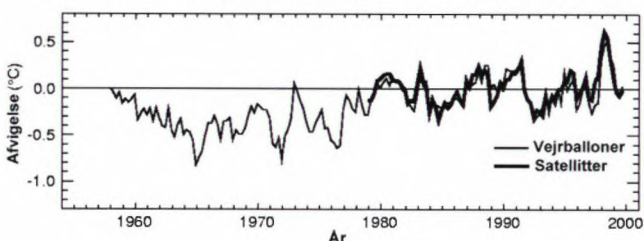
Når man skal vurdere årsagen til de observerede klimavariationer i de sidste par hundrede år samt størrelsen af de variationer vi må forvente i fremtiden, er det vigtigt at kende de mekanismer, der ligger bag variationerne/ændringerne. Variationer i klimaet på Jorden



Figur 1a. Estimeret temperaturkurve for den nordlige halvkugle nær ved jordoverfladen fra ca. år 1000 til nu. Figuren, der har en betydelig usikkerhed (indikeret med lys grå farve), er baseret på en række indirekte temperaturmål (fra bl.a. isborekerner træringe og koraller).



Figur 1b. Den målte globale temperatur nær overfladen fra 1860-1999. De lodrette sorte streger viser usikkerheden.



Figur 1c og 1d. Del c (øverst) viser den globale temperaturvariation fra 1958-2000 i omkring 3 km's højde målt fra vejrballoner og fra satellit. Del d (nederst) viser den globale temperatur i den nedre del af stratosfæren (ca. 15-20 km's højde) målt fra vejrballoner og satellitter. Tre store vulkanudbrud er markeret.

kan være "interne" og "eksterne":

Interne variationer finder sted uden påvirkninger, dvs. "forcing", i form af f.eks. forøget solstråling eller menneskeskabte udslip af drivhusgasser. De

interne variationer fra ti-år til ti-år skyldes primært vekselvirkninger mellem verdensoceanerne og atmosfæren. Efter sidste istids afslutning og set over længere tid (50-100 år eller mere) har størrelsen af udsvingene i disse variationer tilsyneladende været ret små på global skala. En af de mest kendte interne klimavariationer er det såkaldte ENSO fænomen, der er en tropisk vekselvirkning mellem oceanets tilstand i Stillehavet (El Nio) og atmosfærens tilstand i samme område (Southern Oscillation). I Danmark er variationer i vejrliget fra år til år og fra ti-år til ti-år ofte interne klimavariationer.

Eksterne klimavariationer skyldes en påvirkning af klimaet "udefra". Påvirkningen kan være menneskeskabt eller naturlig. De typiske menneskeskabte påvirkninger er:

1. Udslip af drivhusgasser, der virker opvarmende i de nederste 10-15 km af atmosfæren, men afkøler atmosfæren i stor højde.

2. Udslip af små partikler (aerosoler), som virker afkølede på klimaet.

3. Udslip af gasser, der via nedbrydning af stratosfærens ozonlag, afkøler atmosfæren omkring 15 km's højde.

4. Ændringer i landoverfladens udseende. Dette giver primært anledning til regionale klimavariationer i f.eks. mængden af nedbør.

De naturlige påvirkninger er f.eks.:

1. Ændringer i solens aktivitet, som kan give både opvarmning og afkøling i de nederste 10-15 km af atmosfæren.

2. Vulkansk aktivitet, som fører til afkøling i de nederste 8-10 km af atmosfæren, men til opvarmning derover.

En opvarmning eller afkøling af jordoverfladen (menneskeskabt eller naturlig) medfører imidlertid også andre ændringer i klimasystemet, som kan forstærke eller dæmpe effekten af den oprindelige påvirkning. Man taler om positive og negative tilbagekoblinger. Nogle af de vigtige er:

1. "Stefan-Boltzmann tilbagekobling" er vel nok den vigtigste af alle tilbagekoblinger: Hvis Jorden/atmosfæren opvarmes, vil der blive udstrålet mere energi til verdensrummet. Energitalbet er proportionalt med σT^4 , hvor σ er Stefan-Boltzmann's konstant og T er den effektive udstrålingstemperatur (som for Jorden er omkring 30°C lavere end den faktiske overfladetemperatur på grund af atmosfærens eksistens). Denne tilbagekobling er altså stabiliserende, dvs. negativ.

2. Vanddamp-tilbagekobling: En opvarmet atmosfære kan indeholde mere vanddamp end en køligere atmosfære. Vanddamp er imidlertid en drivhusgas, så et forøget vanddampindhold i atmosfæren kan føre til en yderligere opvarmning. Altså er dette en positiv tilbagekobling.

3. Sky-tilbagekobling: Der sker forskellige ændringer i skyernes karakter, når klimaet opvarmes. Nogle steder vil skymængden aftage, mens den vil tiltage andre steder. Som nævnt ovenfor tilbagekaster sky-

erne solens stråler til rummet (en afkølede effekt), men de øger også drivhuseffekten. Så der er altså tale om både negative og positive tilbagekoblinger fra skyer. Den samlede tilbagekobling fra skyer er usikker og kræver fortsat udforskning.

4. Sne/is-tilbagekobling: En generel opvarmning vil medføre en reduktion (ved smeltning) af snedækket over kontinenterne og havisdækket over oceanerne. Dette medfører mindre tilbagekastning af sollys til verdensrummet og dermed til en yderligere opvarmning. Altså igen en positiv tilbagekobling.

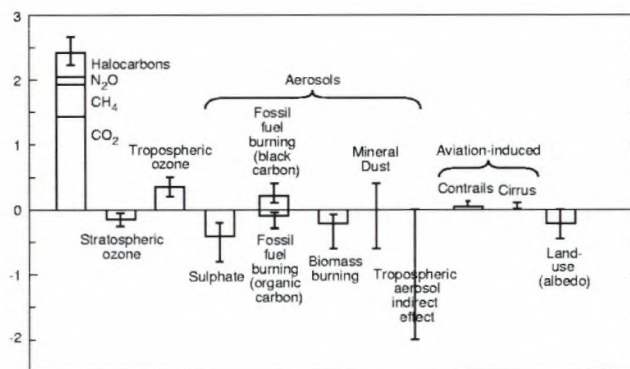
5. Impulsmoment/fordampnings-tilbagekobling [4]. I forbindelse med global opvarmning kan temperaturforskellen mellem troper og ekstratroper stige fordi virkningen fra vanddamptilbagekobling er kraftigere i troperne end i ekstratroperne. Herved vil der via den atmosfæriske dynamik ske en forøget udveksling af atmosfærisk impulsmoment (omkring jordens omdrejningsakse) mellem troper og ekstratroper. Dette medfører så igen en øget vindstyrke, så der sker en forøget afkølede fordampning fra havoverfladen. Altså en negativ tilbagekobling.

6. Beregninger (kapitel 3 i [2]) til dels baseret på forsøg har vist, at en generel opvarmning vil føre til øget frigivelse af bl.a. drivhusgassen kuldioxid fra jord og oceaner. Dette giver en positiv tilbagekobling på klimasystemet, som også har været aktiv i forbindelse med istiderne, idet der var meget lave kuldioxid- og metankoncentrationer under istiderne. Denne tilbagekobling er genstand for forskning, da den kan vekselvirke med de fremtidige klimaændringer som følge af menneskets udledninger af drivhusgasser.

Det skal bemærkes, at tilbagekoblinger generelt kun forstærker eller dæmper effekten af eksterne klimapåvirkninger. De vil normalt ikke ændre selve fortegnet af effekten, men er afgørende for størrelsen af den samlede globale klimaændring samt karakteren af ændringen i form af bl.a. geografisk fordeling.

I den faglige debat vedrørende varierende solaktivitet versus den menneskeskabte drivhuseffekts betydning for den globale temperaturudvikling i det 20. århundrede er det meget væsentlig at notere, at den samlede betydning af alle tilbagekoblinger næppe er voldsomt afhængig af karakteren af ekstern påvirkning [2,5]. Dette gælder især for påvirkninger, som er rimeligt rumligt homogene, dvs. dækker det meste af eller hele jorden med det samme fortegn.

Ved en given øjeblikkelig, men vedvarende klimapåvirkning sker den efterfølgende klimaændring ikke straks. Der er tale om en gradvis tilpasning til ændringen. I tilpasningsperioden bliver der netto tilført strålingsenergi til planeten Jorden og tilbagekoblingsmekanismerne begynder at virke / vekselvirke efterhånden som klimaændringen sker. I praksis bliver energien primært tilført verdensoceanerne, der har en langt større varmekapacitet end atmosfæren.



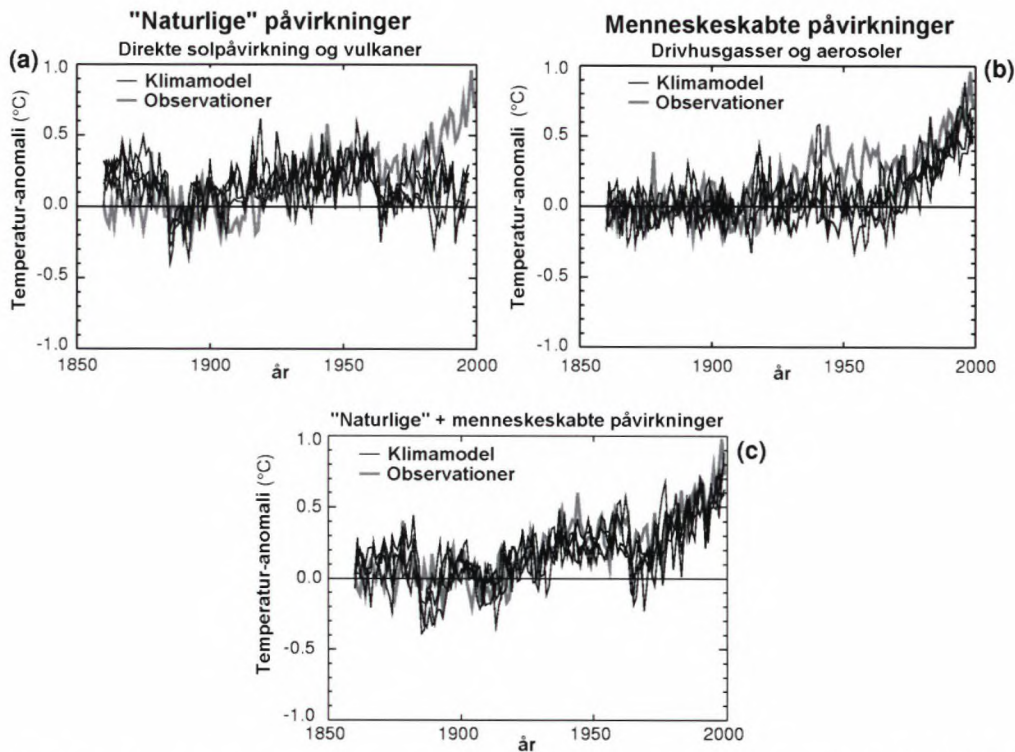
Figur 2. Estimeret ændring i strålingspåvirkning fra forskellige processer i perioden fra omkring 1750 til nu. Søjlen tv. viser den positive påvirkning fra drivhusgasserne. De fysiske processer bag alle søjler th. for "Sulphate" er dårligt forståede. Modificeret fra.[2].

Hvilke påvirkninger har været vigtigst i de sidste hundrede år?

Der er både menneskeskabte og naturlige eksterne påvirkninger af klimaet. Til at vurdere styrken af de forskellige påvirkninger i forhold til hinanden benytter man bl.a. den såkaldte strålingspåvirkning [2]. Der er tale om en fysisk beregning, som meget kort sagt siger, hvor stor en netto mængde strålingsenergi der tilføres (eller fjernes, hvis der er tale om en afkølede påvirkning) atmosfæren, oceanerne og landjorden. Strålingspåvirkning angives almindeligvis i Watt per kvadratmeter. Figur 2 viser de menneskeskabte strålingspåvirkninger, der har fundet sted siden førindustriel tid [2]. Som det kan ses af den venstre søjle, er der sket en betydelig stigning i strålingspåvirkningen fra drivhusgasserne kuldioxid (CO₂), metan (CH₄), lattergas (N₂O) og halocarboner (bl.a. CFC-gasser). Dette hænger sammen med, at de atmosfæriske koncentrationer af de vigtigste drivhusgasser er steget betydeligt siden førindustriel tid. For kuldioxid, er koncentrationen således steget med ca. 31% siden 1770. På basis af bl.a. analyser af luftbobler i isborekerner fra Antarktis er det temmelig sikkert, at CO₂-koncentrationen nu er højere, end den nogensinde har været de sidste 470.000 år. Andre metoder viser endog, at den nu formentlig er højere, end den har været de sidste 20 millioner år. Der er ikke tvivl om, at stigningerne i koncentrationer af drivhusgasser de sidste par hundrede år skyldes menneskelig aktivitet – primært afbrænding af fossile brændsler som kul og olie.

Pladsen her tillader ikke en grundig gennemgang af alle påvirkningerne i figuren. Ganske kort kan det dog nævnes at:

1. Nedbrydning af stratosfærisk ozon giver anledning til en lille negativ påvirkning.
2. Stigningen i troposfærisk (de nederste 10–15 km) ozon giver en positiv påvirkning



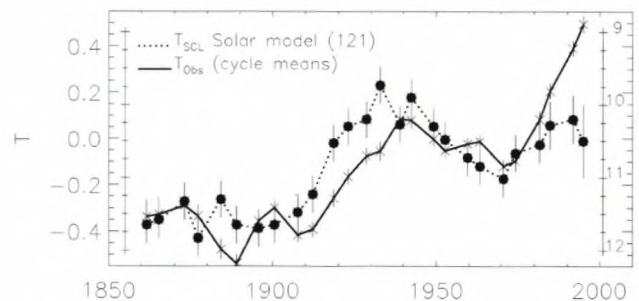
Figur 3. Den globale temperatur nær ved jordens overflade vist som afvigelse fra gennemsnittet i perioden 1961–90. De grå kurver viser de observerede temperaturer. Hver af de sorte kurver viser fire individuelle beregninger med en koblet atmosfære-ocean klimamodel fra Hadley Centeret i England. I del a er modellen blevet påvirket med den estimerede direkte effekt fra ændringer i solaktivitet samt med effekten fra vulkansk aktivitet. Tilsvarende viser del b simuleringer, hvor modellen er påvirket med menneskeskabte stigninger i koncentrationer af drivhusgasser samt med den menneskeskabte afkølede effekt af aerosoler. Del c viser simuleringer, hvor både menneskeskabte og naturlige påvirkninger er inkluderet. Tilpasset fra [9].

3. Effekten af udledninger af små partikler (såkaldte aerosoler) er meget usikker, men det er dog relativt sikkert, at den samlede direkte og indirekte påvirkning fra alle typer aerosoler har været negativ.

Der er betydelige usikkerheder i beregningerne af de fleste af påvirkninger i figuren. Dog er der generelt betydelig faglig enighed om størrelsen af den direkte påvirkning fra drivhusgasserne (venstre søjle). På grund af usikkerhederne og manglende forståelse, er den eksterne (naturlige) påvirkning fra solen ikke medtaget i figur 2. Det estimeres bl.a. af IPCC¹ [2], at den direkte ændring i påvirkning fra solen i form af mere strålingsenergi er mindre end $+0,5 \text{ Wm}^{-2}$. Det er dog meget vanskeligt at give et tal for de mulige indirekte solpåvirkninger, f.eks. via ændringer i kosmisk stråling som foreslået af [6] og senere af [7,8]. Dette skyldes, at teorien bag denne mekanisme endnu ikke er fuldt forstået. Som det ses i figuren skal variationer i denne effekt være større end $1,5 \text{ Wm}^{-2}$ for at overstige den menneskeskabte drivhuseffekt.

En anden måde at vurdere den relative betydning af de forskellige klimapåvirkninger er at benytte såkaldte klimamodeller til at se, om man kan rekonstruere den observerede udvikling af de globale temperaturer, som er vist i figur 1. En klimamodel er en comput-

ermodel, som simulerer atmosfærens, oceanernes og landjordens fysik, samt deres indbyrdes vekselvirkning.



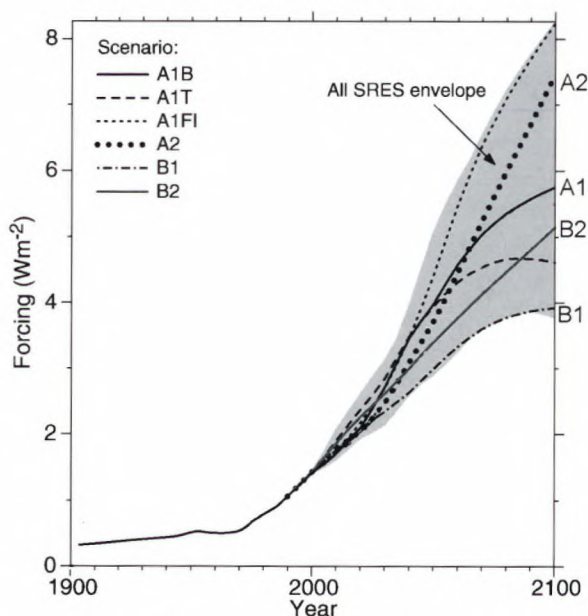
Figur 4. Den fuldt optrukne kurve viser den observerede temperatur nær jordoverfladen på den nordlige halvkugle. Den stiplede kurve med sorte prikker viser forløbet af solpletcykellængden.

Hovedformålet med modellerne er at lade dem beregne de forskellige tilbagekoblinger, hvoraf nogle er nævnt ovenfor. Figur 3 (sorte kurver) viser resultatet af sådanne beregninger [9]. Del a viser temperaturen nær jordoverfladen i simuleringer, som er startet i år 1860 og derefter påvirket med den estimerede variation i direkte solstråling samt med vulkansk aktivitet. Del b viser simuleringer med menneskeskabte påvirkninger

¹Intergovernmental Panel on Climate Change

(drivhusgasser og aerosoler) og del c viser begge dele. Ifølge simuleringerne

1. kan stigningen fra ca. 1900–1940 formentlig forklares med naturlige påvirkninger,
2. er en væsentlig del af temperaturstigningen efter ca. 1970 med stor sandsynlighed menneskeskabt,
3. er der ikke umiddelbart “plads” til andre væsentlige påvirkninger som f.eks. indirekte solpåvirkning via kosmisk stråling og skyer.

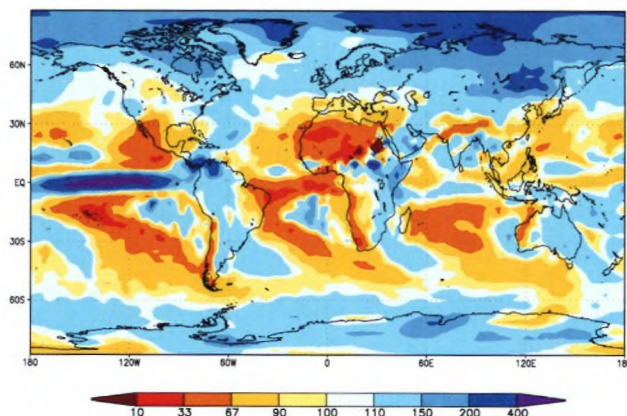


Figur 5. Ændring i strålingspåvirkning i forhold til førindustriel tid ifølge IPCC's nye scenarier for udslip af drivhusgasser og sulfataerosoler [14].

Det sidste punkt er naturligvis kontroversielt, og skal ikke opfattes som noget endegyldigt “bevis” for, at den indirekte solpåvirkning foreslået af [7] og [8] ikke har nogen betydning. Sagen er jo, at resultatet i figur 3 afhænger af den anvendte models såkaldte følsomhed dvs. den simulerede ændring i global middeltemperatur som følge af en given påvirkning (“forcing”). Hvis modellen har for stor følsomhed i forhold til naturen, har den overdrevet opvarmningen som følge af påvirkningen med drivhusgasser. Og hvis dette var tilfældet ville der naturligvis være plads til andre påvirkninger. For at være af betydning må denne/disse dog have en energipåvirkning, der er sammenlignelig med eller større end den fra f.eks. den tiltagende drivhuseffekt. Desværre er der ikke mange muligheder for at benytte fortidens information til at eftervise, om en klimamodells følsomhed er for stor eller lille. Det er fordi man ofte ikke kender fortidens påvirkninger eller klimavariationer med tilstrækkelig nøjagtighed. Men de forsøg, som der har været gjort blandt andet for den midterste del af Holocen [10,11] tyder dog på, at modellernes følsomhed er rimelig. En anden støtte for modellerne er, at de ganske godt simulerer den årlige variation i klimaparametre, såsom vind, temperatur og nedbør. Dette er jo en forceret variation, der især på

høje breddegrader er meget stor.

En tredje mulighed for at vurdere påvirkninger er at “finde” dem ved rent empirisk at sammenholde forskellige typer data. I [12] blev det fundet, at perioden mellem på hinanden følgende solpletmaxima (og minima) varierede på næsten samme måde som temperaturen over land på den nordlige halvkugle. Når perioden var kort (omkring 10 år), var temperaturen høj, og når den var lang (omkring 12 år), var temperaturen lav. Dette resultat er af og til brugt som en slags bevis for, at variationer i solaktiviteten kunne forklare hele temperaturforløbet i de sidste ca. 100–140 år. Der var med andre ord “ikke brug for” drivhuseffekten til at forklare den globale opvarmning. Nye beregninger af [13] viser imidlertid, at når de seneste observerede solpletdata og temperaturer tages med i undersøgelsen, opnås kun en fin sammenhæng indtil omkring 1975, hvorefter de observerede temperaturer stiger mere, end man skulle forvente, hvis sammenhængen fortsatte (se figur 4). Bemærk, at forløbet af den stiplede kurve i figur 4 i 1900-tallet passer nogenlunde med den sorte modelkurve i figur 3a.



Figur 6. Resultat af klimamodellsimuleringer udført ved Danmarks Klimacenter, der viser den procentvise ændring i nedbøren i månederne dec-jan-feb i scenariet A2 i perioden 2071–2100 relativt til perioden 1961–1990. Farven indikerer, hvor stor ændringen er. Se også billedet på forsiden af Kvant samt [15] for yderligere detaljer.

Fremtidens klima

IPCC har opstillet en række scenarier (se [14]), som beskriver forskellige mulige udviklinger i økonomi, teknologi, befolkning og kultur. På basis af disse har man estimeret fremtidens udslip af drivhusgasser og sulfat-aerosoler. Figur 5 viser den totale strålingspåvirkning i perioden fra 1990 til 2100 for alle disse scenarier. Som det kan ses, er der generelt tale om

meget store stigninger i klimapåvirkningen i forhold til det vi har set fra førindustriel tid til nu.

Danmarks Klimacenter ved DMI har anvendt en klimamodel til at beregne, hvor store klimaændringerne bliver som konsekvens af de to scenarier A2 og B2 i figur 5. Hovedresultaterne for månederne dec-jan-feb fra A2 simuleringen er vist på forsiden af dette blad samt i figur 6 (B2 minder meget om A2 men ændringerne er lidt mindre). Resultaterne fra de nye beregninger er detaljeret beskrevet i [15] og de indgår i [2]. Det skal bemærkes, at den anvendte model har en følsomhed, som er næsten lig den for modellen i figur 3, og at resultaterne i mange sammenhænge kan siges at repræsentere et gennemsnit af de nyeste modelresultater, som er refereret i [2]. Som det ses af forsidefiguren, simuleres der store stigninger i vintertemperaturen i de arktiske egne inden for de næste 100 år. Samtidig stiger nedbøren væsentligt i dette område – især på denne årstid. Mange steder i subtropen og den varmere del af de tempererede egne bliver nedbøren mindre; dette gælder dog især om sommeren. Et typisk træk, som hænger sammen med de store temperaturstigninger om vinteren, er et betydeligt fald i det gennemsnitlige lufttryk over Arktis. De tilhørende vinde ændrer sig, så der f.eks. i gennemsnit bliver mere vestenvind ind mod Europa. I Danmark viser beregningerne, at temperaturstigningen bliver på ca. 3–4 grader, nogenlunde lige meget sommer og vinter, mens der ikke simuleres store ændringer i nedbørmængderne, bortset fra en mulig moderat forøgelse af nedbøren om efteråret og vinteren og et tilsvarende muligt lille fald om sommeren. Andre beregninger fra Danmarks Klimacenter viser, at nedbøren sandsynligvis vil falde mere intenst, dvs. der falder mere på en gang, når det endelige regner (eller sneer).

Disse resultater falder fint inden for IPCC's generelle vurdering, der siger at de globale temperaturer sandsynligvis vil stige med 1,4–5,8 grader inden for de næste hundrede år. Usikkerheden i tallet dækker dels over usikkerhed i de fremtidige udslip af drivhusgasser og skæbnen af disse gasser i klimasystemet, dels over begrænsninger i beskrivelsen af klimaets fysik i computermodeller. Alle klimamodeller, der indgår i IPCC's vurderingsrapport viser en stigning i vinternedbøren i arktis samt et fald i nedbøren i mange subtropiske egne (f.eks. omkring Middelhavet). Der er dog ikke enighed om den præcise regionale fordeling af ændringerne.

En af de vigtige konsekvenser af global opvarmning er havniveaustigninger. I de første ca. 100 år vil stigningerne ikke blive store (0,2–0,5 m), men senere vil stigningerne blive meget større, hvis den globale opvarmning fortsætter.

De klimaændringer, der ventes allerede inden for de kommende 50–100 år, er meget store sammenlignet med de naturlige variationer siden sidste istids afslutning for ca. 10.000 år siden. Hvis vi mennesker sænker udslippene af drivhusgasser nu, vil det dog først rigtig kunne mærkes om 50 år eller mere. Dette skyldes, at der

er en stor forsinkelse i klimaets reaktion på udslippene. Dette gælder især for stigninger i havniveaue. Set fra et klimasynspunkt vil målene for hurtige begrænsninger i udslippene af drivhusgasser derfor primært være:

1. At formindske de ellers meget store ændringer, som må forventes fra om ca. 100 år og derefter. For Danmark drejer det sig især om sandsynlige vandstandsstigninger på op mod flere meter inden for de næste 500 år.

2. At undgå uventede drastiske klimaændringer. Drivhuseffekten er en fundamental brik i jordens klima. Den har formentlig været en ikke uvæsentlig medspiller (via kuldioxid- og metan-tilbagekoblinger) i forbindelse med istidens kommen og gåen. Der er dog stadig fundamentale processer og tilbagekoblinger, som ikke er tilstrækkelig forståede, og som især på lang sigt gør beregninger over konsekvenser af menneskets udslip meget usikre. Dette gælder bl.a. manglende forståelse af fysikken bag de globale havstrømme og af tilbagekoblinger for kuldioxid og metan koncentrationer samt flere processer (tilbagekoblinger), der involverer atmosfærens, oceanernes, landjordens og havisens fysik.

Til slut bør det nævnes at scenarier ikke er egentlige prognoser uanset hvor gode klimamodellerne måtte blive i fremtiden. Der er blandt andet variationer i de naturlige klimapåvirkninger, som man ikke vil kunne medtage, fordi de ikke kan forudsiges. Dette gælder f.eks. variationer i solens aktivitet, idet man ikke kan forsige solens opførsel mange årtier frem – i hvert fald ikke med det nuværende videngrundlag. Det skal bemærkes, at de menneskeskabte klimapåvirkninger, der ventes i løbet af de næste 50–100 år (figur 5) er så store, at de formentlig overstiger de variationer i påvirkning, der har været efter afslutningen af sidste istid. Det må således konkluderes, at det er sandsynligt, at klimaet vil ændre sig ganske meget i de næste 100 år, selv om naturlige variationer i påvirkning kan give anledning til en mindre forstærkning eller svækkelse i disse ændringer.

Referencer:

- [1] Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes, (1999). *Geophysical Research Letters*, bind 26, side 759–762.
- [2] IPCC (2001). *Contribution of Working Group I to "The Third Assessment Report" of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press. Se også www.ipcc.ch
- [3] Kaas, E., (2001) "Den globale temperaturudvikling og drivhuseffekten", Se DMI's hjemmeside (www.dmi.dk) under nyheder eller direkte på www.dmi.dk/vejrt/aktuelt/200102091700/NYHED2.HTML
- [4] Bates, J.R (1999). *Tellus*, bind 51A, side 349–372
- [5] Hansen, J., M. Sato, and R. Ruedy (1997). *Journal Geophysical Research.*, bind 102, side 6831–6864.
- [6] Pudovkin, M. and S. Veretenenko (1995). *Journal of Atmospheric Terrestrial Physics*, bind 57, side 1349–1355.
- [7] Svensmark, H. and E. Friis-Christensen (1997). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, bind 59, side 1225–1232.

- [8] Marsh, N.D. and H. Svensmark (2000), *Physical Review Letters*, bind 85(23), side 5004–5007.
- [9] Stott, P.A., SFB, Tett, G.S. Jones, M.R. Allen, J.F.B. Mitchell and G.J. Jenkins (2000) *Science*, bind 290, side 2133–2137.
- [10] Braconnot, P., S. Joussaume, O. Marti and N. de Boblet (1999). *Geophysical Research Letters*, bind 26, side 2481–2484.
- [11] Braconnot, P., O. Marti, S. Joussaume and Y. Leclainche (2000). *Journal of Climate*, bind 13, side 1537–1553.
- [12] Friis-Christensen, E. and K. Lassen (1991). *Science*, bind 254, side 698–700.
- [13] Thejll, P. and K. Lassen (2000). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, bind 62, side 1207–1213.
- [14] IPCC (2000): Emissionsscenarier. DMI's oversættelse af IPCC's særrapport: Emissions Scenarios, Summary for Policymakers. web.dmi.dk/f+u/publikation/Dkc00-3.pdf
- [15] Stendel, M, T. Schmith, E. Roechner and U. Cubasch (2000). Danish Climate Centre Report no. 00-6. web.dmi.dk/f+u/publikation/Dkc00-6.pdf.
- [16] Christensen, O. B., 2000: "Drivhuseffekten og regionale klimaændringer". Danish Climate Centre Report no. 00-6. web.dmi.dk/f+u/publikation/Dkc00-2.pdf



Eigil Kaas er forskningsleder på Danmarks Meteorologiske Institut.

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Direktionen for SNU udgøres af:

Professor Dorte Olesen (formand)
UNI-C
Vermundsgade 5
2100 København Ø
E-mail: bente.egaa@uni-c.dk
Tlf. 35 87 88 04

Professor Søren Brunak

Professor Poul Erik Hansen

Lektor Erik Schou Jensen

Direktør, adjungeret professor Ole Mørk Lauridsen

Lektor Malte Olsen

Lektor Finn Berg Rasmussen

Lektor Jørn Johs. Christiansen (sekretær)
Aakjærs Alle 24 B
2860 Søborg
Tlf. 39 69 58 18



Ørsted Medaljen uddelt til Direktør Asger Høeg

H. C. Ørsted Medaljen i bronze blev den 1. oktober 2001 overrakt til Direktør Asger Høeg for hans mangeårige arbejde for Eksperimentarium samt som initiativtager til Dansk Naturvidenskabsfestival i 1998.

I sin takketale kom Asger Høeg ind på Ørstedes virke

og sagde bl.a.:

“I 1824 stiftede Ørsted Selskabet for Naturlærens Udbredelse, og i 1829 etablerede han Den Polytekniske Lærestanstalt. En stor del af grundlaget for Danmarks øgede rigdom igennem årene fra midten af 1830'erne og frem til i dag ligger i Den Polytekniske Lærestanstalts virke.

H. C. Ørsted gjorde i juli 1820 sit epokegørende eksperiment, der påpegede elektromagnetismen. Hans banebrydende virke skete i brydningstiden mellem landbrugssamfundet og industrisamfundet. I disse år oplever vi brydningerne ved overgangen fra industrisamfundet til hvad jeg – optimistisk – kalder kultursamfundet.

I begge situationer, er der behov for at kæmpe for naturvidenskabens position.

H. C. Ørsted gjorde en jätteindsats for naturvidenskaben. Man har ofte spurgt, hvorfor Ørsted ikke selv gik videre med de eksperimenter og den forskning, som især Faraday høstede sine laurbær på.

Svaret er måske det enkle: At H. C. Ørsted simpelthen ikke havde tid nok til forskningen. Ørsted holdt utrolig mange forelæsninger. Da Selskabet for Naturlærens Udbredelse blev stiftet i 1824 påtog han sig den store opgave at afholde ikke mindre end 4 forelæsninger om ugen for almenheden i tidsrummet fra 18.30–20.00. Og det vel at mærke udover hans andre gøremål som professor ordinarius ved Københavns Universitet og sekretær for Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. H. C. Ørsted var altså en forsker, der formidledede.

Lad mig trække Ørstedes virke op til nutidens problemstilling. Befolkningen og især ungdommen interesserer sig mindre for naturvidenskaberne end tidligere. Jeg tror det i bund og grund er et udslag af den ufattelige