



## Bidrar menneskene til økt drivhuseffekt?

*Frode Stordal, NILU*

Økende konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren vil etter all sannsynlighet forårsake et merkbart varmere klima på jorden. Analyse av de ca. hundre siste års meteorologiske data viser at en oppvarming har funnet sted, og det anses nå som usannsynlig at dette kun har naturlige årsaker.

Klimagassene absorberer en del av den infrarøde strålingen som sendes ut fra jordens overflate, og en øket konsentrasjon av disse vil gi opphav til en økning av temperaturen ved jordoverflaten. Konsentrasjonene av noen av disse drivhusgassene øker raskt.

Karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ) er den viktigste av de drivhusgassene som slippes ut som en følge av menneskelig aktivitet. Konsentrasjonen av  $\text{CO}_2$  har økt med drøyt 25% siden førindustriell tid, trolig hovedsakelig på grunn av forbrenning av fossilt brensel og landdrydding for jordbruksformål.

Mange andre sporgasser forårsaker også en økt drivhuseffekt. De viktigste er metan ( $\text{CH}_4$ ), dinitrogenoksid eller lystgass ( $\text{N}_2\text{O}$ ), klorfluorkarboner (KFK) og ozon ( $\text{O}_3$ ). Bidragene fra hver av disse er mindre enn det fra  $\text{CO}_2$ . Imidlertid regner man med at den kombinerte virkningen av disse kan ha vært omtrent like stor som virkningen av  $\text{CO}_2$  alene.

Ozon spiller flere viktige roller i klimasystemet. Nedgangen i ozonmengden i stratosfæren de siste årene har redusert drivhuseffekten noe. På den annen side har ozonmengden økt i deler av troposfæren, noe som har kompensert for en del av denne reduksjonen. Ozon påvirker også klimasystemet kjemisk ved at gassen deltar i det kjemiske reaksjonene som bryter ned drivhusgasser, som f.eks. metan.

Jordens atmosfære slipper gjennom en vesentlig del av den strålingen som kommer fra solen, som vist i figur 1. En fjerdedel reflekteres ut i rommet igjen av luft og skyer, mens nok en fjerdedel blir absorbert i atmosfæren eller reflektert tilbake til verdensrommet fra jordoverflaten. Det betyr at halvparten når ned til jordoverflaten. Denne energien varmer opp jordens overflate, som så stråler ut energi, hovedsakelig i den infrarøde delen av spekteret. En del gasser i jordens atmosfære har den egenskap at de slipper gjennom synlig lys, mens de meget effektivt absorberer infrarød stråling. En del av varmestrålingen fanges derved i atmosfæren. Det bidrar dermed til at jordoverflaten får en høyere temperatur enn hva tilfellet ville ha vært uten drivhusgassene. Hvis jordens atmosfære var helt uten drivhusgasser, ville den midlere globale overflatetemperatur ha vært  $33^\circ\text{C}$  lavere enn den er i dag, med isdekte verdenshav som resultat.

Nesten all strålingen fra jordens overflate absorberes av atmosfæren, som i sin tur stråler ut omtrent halvparten av dette til verdensrommet. Den andre halvparten sendes ned igjen mot jordoverflaten, og det er dette vi kaller drivhuseffekten.

Energimengden, som returneres til jordoverflaten, kalles strålingsføringen (engelsk: radiative forcing), og måles i  $W/m^2$ .

Siden pre-industriell tid har økning i konsentrasjonene av  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  og KFK ført til en økning i drivhuseffekten. Det største bidraget har kommet fra  $CO_2$ , omkring  $1,5 W/m^2$ . Deretter følger  $CH_4$  med  $0,5 W/m^2$ , KFK-gasser med  $0,3 W/m^2$  og  $N_2O$  med  $0,2 W/m^2$ . Disse bidragene skyldes alle disse gassenes absorpsjon av IR-stråling, en direkte drivhuseffekt.

Stratosfærisk ozon er redusert bl.a. som en følge av utslipp av KFK. Dette har gitt opphav til en reduksjon i drivhuseffekten. Dette kan betraktes som en indirekte effekt av utslipp av KFK. Reduksjonen i drivhuseffekten har utgjort ca.  $0,2 W/m^2$ . På den annen side har troposfærens ozoninnhold økt, i hvert fall noen steder, antakelig pga. utslipp av ozonproduserende stoffer som  $NO_x$  (nitrogenoksider), hydrokarboner (VOC = Volatile Organic Compounds),  $CH_4$  og CO. Dette har økt drivhuseffekten, en indirekte klimaeffekt som har vært beregnet til ca.  $0,4 W/m^2$ .

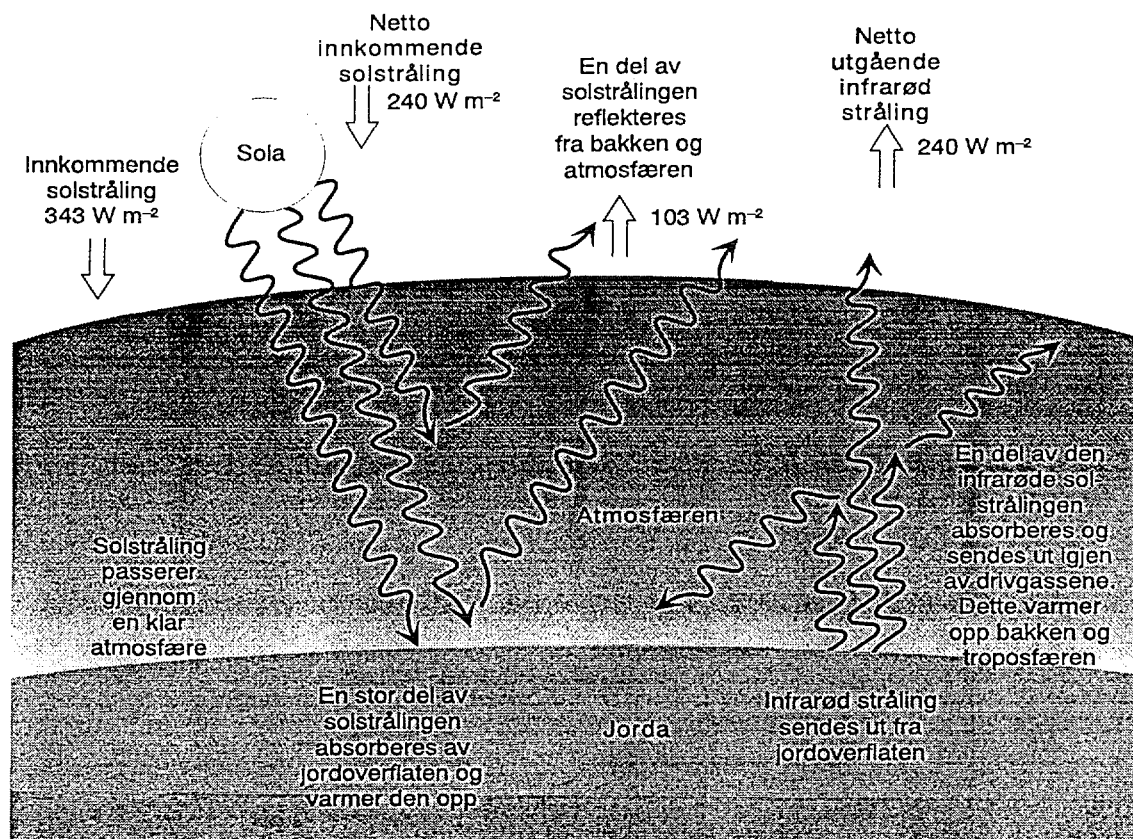
Utslipp av  $SO_2$  har ført til en økning i atmosfærens innhold av sulfatpartikler. Partiklene reflekterer en del av solstrålingen, og de har derfor gitt en reduksjon av strålingsføringen på  $1 W/m^2$ , som en direkte strålingseffekt. Partiklene kan også ha påvirket klimaet indirekte fordi de virker som kjerner for skydråper. Det er svært usikkert hvor stor denne effekten har vært.

Alle de nevnte tallene er globale middelerverdier. Alle gassene gir ulike geografiske fordelinger i endringene i strålingsføringen. Dette gjelder i særlig grad for bidragene fra ozon og sulfatpartikler, fordi disse har en ujevn geografisk fordeling i atmosfæren.

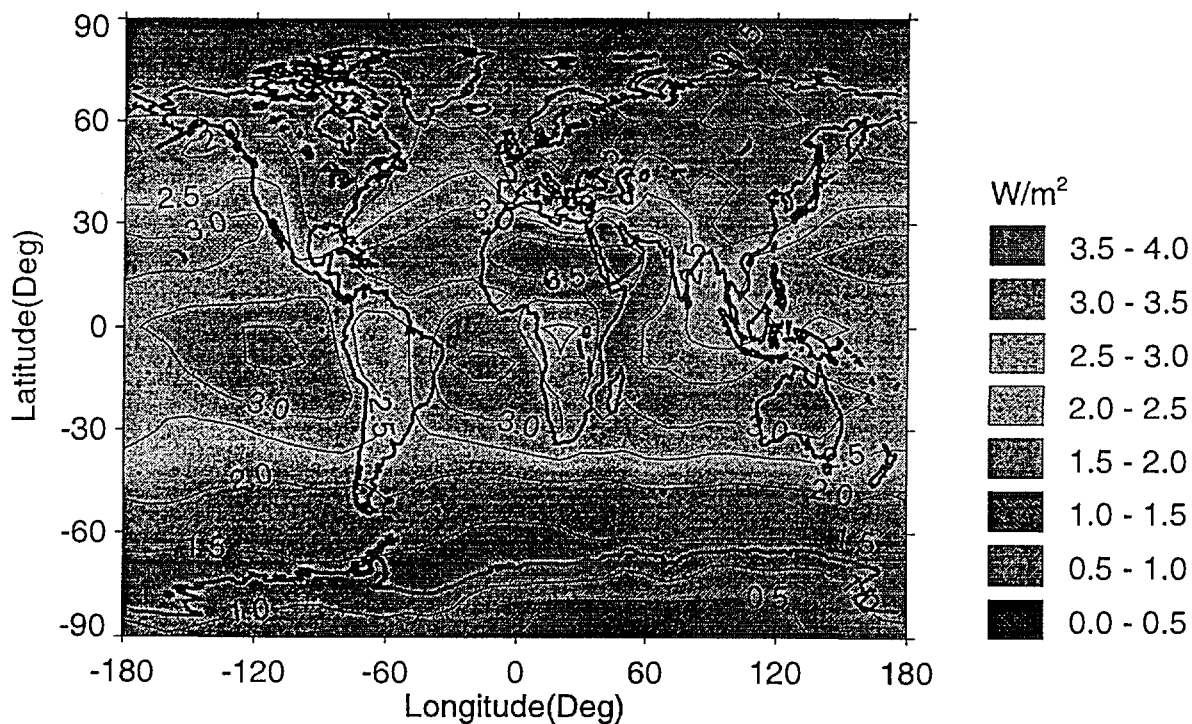
Innen forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål har vi beregnet bidragene til endringer i strålingsføringen fra alle de komponentene som er nevnt ovenfor. Figur 2 viser den samlede effekten av drivhusgassene, ozon samt den direkte effekten av sulfat- og sotpartikler. Det er markerte geografiske variasjoner i strålingsføringen.

Intensiteten av solstrålingen varierer også noe, selv på 10–100 års tidsskalaer. Den varierer regelmessig med en 11-års syklus. Basert på satellittobservasjoner av solstråling og andre indikatorer på solaktivitet, har det vært beregnet at solintensiteten kan ha økt med omkring  $0,3 W/m^2$  siden pre-industriell tid. Vi kan ikke forutsi endringer i de neste dekadene, de kan bli både positive og negative.

Det er derfor klart at menneskene har bidratt til endringer i drivhuseffekten i det 20. århundre. Dette baseres på godt dokumenterte observasjoner av endringer i konsentrasjonen av drivhusgassene samt på strålingsberegninger. Endringene er klart merkbare i forhold til naturlige variasjoner i strålingsføringen.



Figur 1: Årlig midlet global strålingsbalanse for jord-atmosfære-systemet



Figur 2: Strålingsføring fra endringer i konsentrasjonen av drivhusgasser, ozon samt den direkte effekt av sulfat- og sotpartikler.