



Senter for  
klimaforskning

Center for  
International Climate  
and Environmental  
Research - Oslo

**Policy Note 1999:7**

# **Direkte og indirekte klimaeffekter av ozonnedbrytende stoffer**

*Jan S. Fuglestvedt og Hans Martin Seip*



Universitetet i Oslo

University of Oslo

ISSN: 0804-4511



CICERO Policy Note 1999:7

# **Direkte og indirekte klimaeffekter av ozonnedbrytende stoffer**

**Jan S. Fuglestad og Hans Martin Seip**

17. desember 1999

**CICERO Senter for klimaforskning**

Postboks 1129 Blindern, 0317 Oslo

Telefon: 22 85 87 50

Faks: 22 85 87 51

E-post: [admin@cicero.uio.no](mailto:admin@cicero.uio.no)

Web: [www.cicero.uio.no](http://www.cicero.uio.no)

## Sammendrag

Viktige ozonnedbrytende stoffer som KFK-11 og KFK-12 er sterke drivhusgasser med direkte oppvarmingseffekt. Men fordi disse gassene bryter ned ozonlaget, har de også flere indirekte effekter som sannsynligvis virker avkjølende. Det er derfor vanskelig å bestemme netto-effekten av disse gassene. Beregninger tyder imidlertid på at oppvarmingseffekten er dominerende for de fleste av dem.

## **Innhold**

1	VIRKNINGER AV KLIMAGASSER .....	6
2	NYE GWP-VERDIER .....	9
3	KONKLUSJONER .....	11
4	REFERANSER.....	11

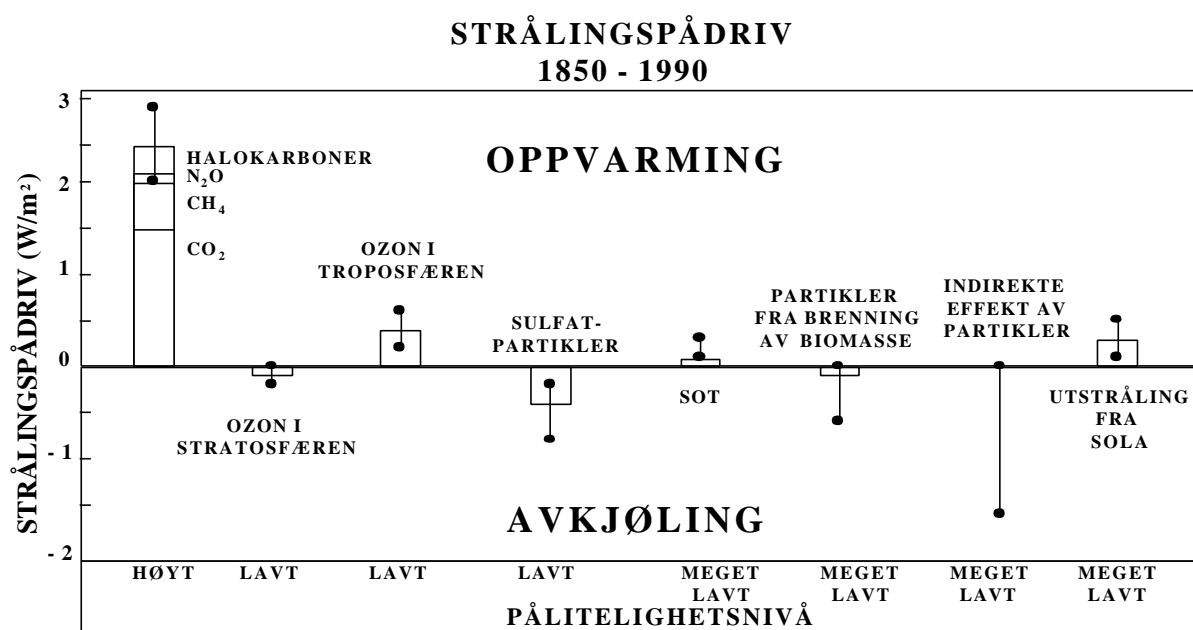
# 1 Virkninger av klimagasser

Siden før-industriell tid har konsentrasjonene av en rekke gasser i atmosfæren endret seg som følge av menneskeskapte utslipp. Mange av disse gassene er med på å kontrollere jordens og atmosfærens strålingsbalanse og dermed klimaet på jorden. Klimapåvirkningen oppgis ofte som *endring i strålingsbalanse* med måleenhet  $W/m^2$  ("radiative forcing" eller "strålingspådriv").

Her skal vi se på virkningene av noen halokarboner, blant annet KFK-11, KFK-12 og HKFK-22 (som også inneholder hydrogen). Disse stoffene blir brukt som kjølemiddel i kjøleskap og frysenskap og til ekspandering av skumplast. Andre stoffer som KFK-113 og  $CCl_4$ , brukes til rensing av elektronikk og tøy.

Andre hovedrapport fra FNs Klimapanel (IPCC, 1996) gir en oversikt over de ulike gassenes bidrag til menneskeskapte klimaendringer, men etter den tid har nyere studier ført til enkelte endringer i tallene. Figur 1 fra IPCC (1996) viser ulike stoffers bidrag til endring i strålingsbalanse i forhold til 1850. Stolpen helt til venstre viser at den direkte, oppvarmende virkning av halokarboner (som inkluderer KFK og HKFK) er betydelig, men mindre enn oppvarmingen som skyldes  $CO_2$  og  $CH_4$  (metan).

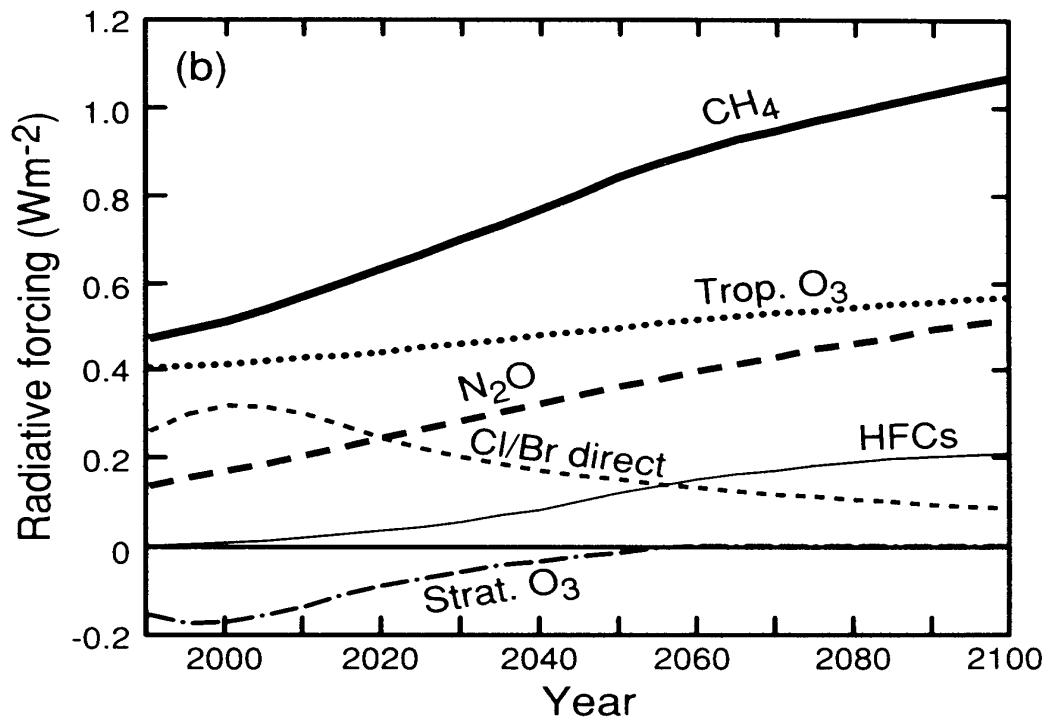
Denne oppvarmende effekten skyldes at halokarbonene absorberer langbølget stråling fra jorda (og underliggende lag av atmosfæren) på samme måte som andre klimagasser. For å komme frem til nettooppvarming fra halokarbonene, må en imidlertid også ta hensyn til de *indirekte* virkninger disse stoffene har ved at ozonlaget i stratosfæren påvirkes. Annen stolpe i figuren viser at endringene i ozonlaget, som i all hovedsak skyldes halokarboner, sannsynligvis bidrar til en avkjøling. Siden halokarbonene ved siden av den betydelige oppvarmende *direkte* virkningen, har *indirekte* virkninger via ozonreduksjoner med sannsynligvis motsatt fortegn, er det komplisert å beregne netto klimaeffekt av disse gassene.



**FIGUR 1: Klimaeffekter av endring i konsentrasjonene av klimagasser og partikler siden 1850 gitt som strålingspådriv (radiative forcing) i W/m<sup>2</sup>. Høyden på stolpene viser beste estimat og linjene markerer usikkerhetsområdet. Pålitelighetsnivået er oppgitt nederst i figuren (IPCC, 1996).**

KFK-12 har fram til i dag bidratt mest (50 prosent) til den samlede (direkte) oppvarmingseffekt fra halokarboner. KFK-11 har bidratt med ca. 20 prosent, mens resten av oppvarmingseffekten skyldes hovedsakelig CCl<sub>4</sub>, HKFK-22 og KFK-113. Nye studier viser imidlertid at den direkte oppvarmingseffekten av KFK-11 og KFK-12 sannsynligvis er nesten 15 prosent høyere enn verdiene brukt av IPCC (1996).

Figur 2 viser forventet utvikling i strålingspådriv frem til år 2100 når det antas at Montrealprotokollen om ozonnedbrytende stoffer og dens tilleggsprotokoller blir oppfylt. Oppvarmingseffekten av ozonnedbrytende stoffer ("Cl/Br direct") forventes å nå sitt maksimum rundt år 2000, og avkjølingseffekten av ozonlagsreduksjoner omtrent samtidig ("Strat. O<sub>3</sub>"). Figuren viser også et økende bidrag fra erstatningsstoffene (HFC) etter hvert som ozonnedbrytende stoffer fases ut.



**Figur 2. Beregnet utvikling i strålingspådriv for noen viktige drivhusgasser (IPCC, 1996). (CO<sub>2</sub> er ikke inkludert i denne figuren).**

Figur 1 og 2 er hentet fra IPCC (1996). Senere beregninger viser at strålingspådrivet fra stratosfærisk ozon kan være dobbelt så stort som angitt i figur 1. Dette skyldes delvis at man har tatt hensyn til de sterke ozonreduksjonene som inntraff i løpet av 1990-årene. Strålingspådrivet fra redusert ozonlag kan ha motvirket hele 30 prosent av oppvarmingen fra CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O og halokarboner i samme periode (siden slutten av 1970-tallet). Det er da ikke tatt hensyn til de indirekte effektene økt UV-innstråling har på kjemien i den underliggende troposfæren (se nedenfor).



## 2 Nye GWP-verdier

Sammelikning av ulike stoffers virkning på klimaet er komplisert blant annet fordi stoffene har ulik oppholdstid i atmosfæren (fra ca. 10 år for metan til mange tusen år for noen perfluorkarboner). Et utbredt verktøy for sammenlikning av ulike gassers oppvarmingseffekt er globale oppvarmingspotensialer (Global Warming Potentials, GWP). Disse benyttes blant annet i forbindelse med rapportering til FNs klimakonvensjon og ved implementering av Kyotoprotokollen. GWP-verdiene er imidlertid usikre, og denne metoden for sammenlikning av utslipp har betydelige svakheter og begrensninger.

GWP angir den akkumulerte virkningen over en valgt tidshorison av 1 kg av et stoff sammenliknet med 1 kg av CO<sub>2</sub>. Dette betyr blant annet at hvis en kommer fram til en mer nøyaktig verdi for oppvarmingseffekten av CO<sub>2</sub>, endres alle GWP-verdier.

GWP-verdiene varierer med tidshorisonen en velger siden CO<sub>2</sub> og gassene som sammenliknes har svært ulike levetider/justeringstider<sup>1</sup> i atmosfæren. Dermed blir valg av tidshorison viktig for beregning av de forskjellige utslippenes bidrag til den totale oppvarmingseffekten og for et lands totale utslipp av drivhusgasser gitt som CO<sub>2</sub>ekvivalenter. Ofte benyttes en tidshorison på 100 år uten at det foreligger noen god faglig begrunnelse for dette valget.

Endringer i det stratosfæriske ozonlaget påvirker temperaturen på jorda på flere måter. Absorpsjonen både av innkommende (kortbølget) stråling og utgående (langbølget) stråling, påvirkes. Videre påvirkes temperaturen i stratosfæren som igjen har virkninger på fysiske og kjemiske prosesser som finner sted der. Beregningene blir derfor meget kompliserte, og resultatene er følsomme overfor antatt fordeling av ozonendringene i atmosfæren. Beregnede verdier for indirekte virkninger isolert sett varierer følgelig mye, men de fleste studier konkluderer med en negativ verdi for strålingspådrivet fra redusert ozonlag, det vil si en avkjølende virkning. Enkelte studier har kommet til en svak oppvarmingseffekt av redusert ozonlag.

Nyere beregninger av GWP-verdier publisert i Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998 (WMO, 1999), tyder på at de *direkte* GWP-verdiene er vesentlig større for KFK-11 og KFK-12, og at usikkerhetsintervallet for KFK-11 er større enn angitt av IPCC (1996). Endringene i GWP-verdiene skyldes de nevnte endringene i direkte oppvarmingseffekt, men

---

<sup>1</sup> **Justeringstid** (adjustment time, response time): Justeringstiden karakteriserer hvordan konsentrasjonen avtar etter at en puls av stoffet er tilført reservoaret. Justeringstid angir også hvor lang tid massen eller mengden bruker på å innstille seg på en ny likevekt etter en vedvarende, konstant økning (trinnsfunksjon) i tilførsel av masse til reservoaret. For gasser med ett sluk som er proporsjonalt med mengden av gassen i reservoaret, er justeringstiden definert som den tid det tar å redusere forflytningen eller avvik fra likevekt til en e-del (1/e eller 37%) av den opprinnelige forflytningen. For CO<sub>2</sub>, som har flere fjerningsmekanismer, defineres vanligvis ikke en enkelt justeringstid. Hvordan konsentrasjonen avtar over tid, kan studeres vha. karbonsyklus-modeller og uttrykkes som en sum av flere eksponensialfunksjoner.

**Levetid** (lifetime): Dette er et mer generelt begrep uten en enkelt definisjon. Noen ganger brukes dette i stedet for justeringstid, andre ganger for omsetningstid, noe som kan føre til misforståelser.

**Omsetningstid** (turnovertime): Definert som forholdet mellom massen, M, av et reservoar (f. eks. massen av en gass i atmosfæren) og strømmen, S (masse pr. tidsenhet) ut av reservoaret,  $t = M / S$ . Dette blir også ofte omtalt som oppholdstid.

også endringer i beregnet oppvarmingseffekt fra CO<sub>2</sub>, siden GWP-ene angir effekten i forhold til CO<sub>2</sub>. Tabell 1, hentet fra WMO (1999), viser verdier for GWP (med 100 års tidshorisont) for noen ozonnedbrytende stoffer.

Redusert ozonlag fører også til økt innstråling av UV til den underliggende troposfæren og endringer i konsentrasjonene av klimagasser der, først og fremst metan (CH<sub>4</sub>) og troposfærisk ozon. Dette gir ytterligere forsterkning av de indirekte avkjølingseffektene av KFK. Beregninger antyder at denne mekanismen vil øke det negative strålingspådrivet fra ozonlagsnedbrytning med 30-50 prosent.

**TABELL 1: GWP-verdier (med tidshorisont på 100 år) for utvalgte ozonnedbrytende stoffer (Kilde: WMO, 1999). Verdiene er oppdatert i forhold til IPCC (1996).**

	Direkte	Direkte + indirekte	
		Min	Maks
KFK-11	4600	-1680	3610
KFK-12	10600	6900	10020
KFK-113	6000	1740	5330
CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> (Metyllkloroform)	140	-750	0
CCl <sub>4</sub> (Karbontetraklorid)	1400	-5850	260
HKFK-22	1900	1500	1840

I tillegg til at drivhusgasser som CH<sub>4</sub> og troposfærisk ozon påvirkes, kan økt innstråling av UV også ha effekter på konsentrasjonene av sulfatpartikler. Som vist i figur 1, har disse en betydelig avkjølende effekt, både direkte og indirekte via effekter på skyene. GWP-verdiene i tabell 1 har *ikke* tatt hensyn til disse indirekte effektene av ozonlagsreduksjoner, bare strålingspådrivet fra redusert ozonlag. Ifølge IPCC (1994) kan effekten av stratosfærisk nedbrytning på troposfærisk ozon og metan, samt på partikler og skyer, overskride strålingspådrivet fra stratosfærisk ozon alene med så mye som en faktor 2. Dette indikerer at indirekte effekter kan være sterke, men at de er svært dårlig kvantifisert.

### 3 Konklusjoner

KFK-11 og KFK-12 bidrar sterkt til reduksjon av ozonlaget. Redusert ozonlag har en rekke uheldige virkninger, først og fremst økt UV-stråling ned til jordoverflaten noe som blant annet kan medføre økt forekomst av hudkreft hos mennesker og ha uheldige effekter også på andre biologiske systemer.

Både KFK-11 og KFK-12 har stor *direkte* oppvarmingseffekt, på grunn av absorpsjon av langbølget stråling fra jorda.

Den *indirekte* virkningen på strålingspådrivet på grunn av redusert ozonlag, er vanskelig å beregne, men er sannsynligvis negativ, det vil si avkjølede. Usikkerhetene knyttet til beregning av de indirekte effektene på klima er mye større enn for de direkte effektene.

Tas både direkte og indirekte virkning med, er GWP for KFK-12 fortsatt stor og positiv. For KFK-11 er usikkerheten meget stor og intervallet for netto GWP går fra negativ til betydelig positiv. For HKFK-22 er den indirekte effekten via ozonlagsreduksjoner liten, og GWP-verdiene er positive i alle tilfeller.

Fra et klimasynspunkt må ozonnedbrytende stoffer anses som uheldige. Ved vurdering av tiltak er det viktig å merke seg at GWP kan være stor også for KFK-11 selv om usikkerheten er stor. Videre må det tas i betraktning at effekter som motvirker hverandre i en GWP-beregning, er fysisk/kjemisk forskjellige og inntreffer i ulike deler av atmosfæren. Beregning av netto GWP-verdier ved å summere direkte og indirekte effekter er vanskelig fordi oppvarming og avkjøling inntreffer på ulike steder i atmosfæren, og siden de indirekte effektene er langt mer usikre enn de direkte.

### 4 Referanser

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 1996: Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1996.

WMO (World Meteorological Organization) 1999: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. World Meteorological Organization. Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 44.

# ***This is CICERO***

CICERO was established by the Norwegian government in April 1990 as a non-profit organization associated with the University of Oslo.

The research concentrates on:

- International negotiations on climate agreements. The themes of the negotiations are distribution of costs and benefits, information and institutions.
- Global climate and regional environment effects in developing and industrialized countries. Integrated assessments include sustainable energy use and production, and optimal environmental and resource management.
- Indirect effects of emissions and feedback mechanisms in the climate system as a result of chemical processes in the atmosphere.

Contact details:

CICERO  
P.O. Box. 1129 Blindern  
N-0317 OSLO  
NORWAY

Telephone: +47 22 85 87 50  
Fax: +47 22 85 87 51  
Web: [www.cicero.uio.no](http://www.cicero.uio.no)  
E-mail: [admin@cicero.uio.no](mailto:admin@cicero.uio.no)

