

Figur 4. Midlere atmosfærisk trykk og vindfelt for desember-mars i perioden 1997-2001. Dette vindfeltet vil være typisk for en situasjon med høy NAO-indeks.

layer cooling and freshening in the Norwegian Sea in relation to atmospheric forcing. *Deep-Sea Res. I*, 47(2000), 655-680.

- Furevik, T. 2001. Annual and interannual variability of the Atlantic Water temperatures in the Norwegian and the Barents Seas: 1980-1996, *Deep-Sea Res.*, I 48 (2001), 383-404.
- Ingvaldsen, R. m. fl. 2003. Climate variability in the Barents Sea during the 20th century with a focus on the 1990s. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 219, 160-168.
- Loeng, H. m. fl. 1997. Water fluxes through the Barents Sea.

Avgjørende faktorer

Med den kunnskapen vi har i dag vil jeg si at følgende faktorer er mest avgjørende for havklimaet i Barentshavet:

- Temperaturen på det innstrømmende vannet, bestemt av prosesser i Nor-

skehavet

- Mengden vann som går inn og hvordan dette fordeler seg. Dette ser ut til å være mer bestemt av den lokale vinden enn prosesser i Norskehavet

Det siste punktet kan være vel så viktig som punktet over, og

i så fall kan man neppe si at havklimaet i Barentshavet er prisgitt Norskehavet. Forøvrig foretas det nå sammenligninger av strømmålerdata i Norskehavet og i innløpet til Barentshavet for å undersøke forholdene nærmere.

Referanser

- Blindheim, J. m. fl. 2000. Upper

Randi Ingvaldsen
 (randi.ingvaldsen@imr.no) er forsker ved Havforskningsinstituttet og Bjerknessenteret, og arbeider med havklima i Barentshavet i prosjektene NOCLim, ProClim, ECOBE og ASOF-N.

Vanndamp som drivhusgass

Satellittmålinger og beregninger gir oss sikrere anslag for skyenes og gassenes bidrag til drivhuseffekten. Vanndamp og skyer utgjør til sammen drøyt 2/3 av den totale drivhuseffekten, mens CO₂ bidrar med drøyt 1/5.

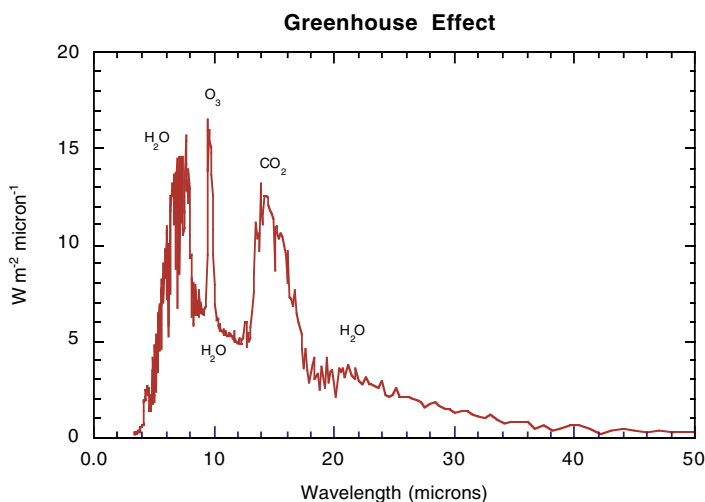
Jón Egill Kristjánsson, RegClim

Rundt 98 prosent av jordas atmosfære består av nitrogen (N₂) og oksygen (O₂) som slipper jordas varmestråling rett i gjennom. De gjenstående cirka 2 prosent består av skyer, vanndamp, karbondioksid, metan og andre gasser. Takket være disse er klimaet på jorda titalls grader varmere enn det ville vært uten dem. Denne evnen til å fange opp utgående varmestråling, for så å stråle

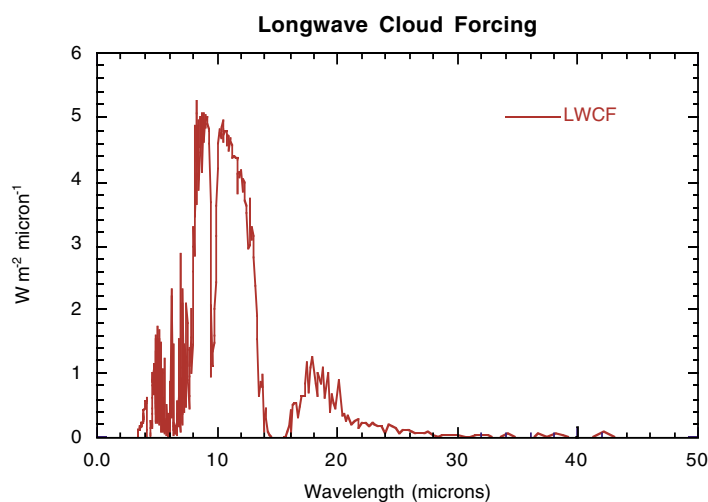
energi tilbake til bakken, kalles *atmosfærens drivhuseffekt*, selv om analogien til et drivhus egentlig er tvilsom, ettersom drivhusets kanskje viktigste egenskap er å hindre turbulente luftbevegelser i å frakte vekk varmen. At vanndamp (H₂O), karbondioksid (CO₂), metan (CH₄) og lystgass (N₂O) er de viktigste drivhusgassene i jordas atmosfære, har vært kjent i mange tiår, likeledes at skyene også gir et viktig bidrag i dette regnestykket (se artikkel i *Cicerone 5-1999* av Kvamstø og Skartveit). Derimot er det

først i de siste år at pålitelige *kvantitative* estimater av disse forskjellige bidragene har foreligget. Resultatene som ble presentert av Kiehl og Trenberth i en artikkel i tidsskriftet *Bulletin of the American Meteorological Society* i 1997 kan fremdeles sies å representere vår beste viten om dette temaet i dag. Grunnen til at de nevnte gassene fungerer som drivhusgasser er å finne i kvantefysikken: Disse gassene består av molekyler hvis vibrasjons- og rotasjonsbevegelser har ener-

ginivåer som tilsvarer bølglengder mellom 4 og 100 mikrometer (µm), hvilket tilsvarer jordas varmestråling (*infrarød* stråling). Aller mest effektiv er vanndamp, som har et kraftig absorpsjonsbånd ved 6,3 µm, i tillegg til sterk absorpsjon i mer eller mindre hele området 12 – 100 µm (Figur 1). De andre gassene er mer selektive; CO₂ har et meget kraftig absorpsjonsbånd ved 15 µm, i tillegg til et markert bånd ved 4,3 µm; metan absorberer i første rekke ved 7,6 µm, lystgass ved 4,5 µm, 7,9 µm og ved 17 µm. Skyene



Figur 1. De viktigste gassenes bidrag til den totale drivhuseffekten, og variasjonen av dette med bølgelengde. [Fra Kiehl og Trenberth (1997).]



Figur 2. Skyenes drivhuseffekt, og variasjonen av denne med bølgelengden. [Fra Kiehl og Trenberth (1997).]

består av flytende eller frosset vann, fordelt på en mengde små dråper eller iskrystaller. De absorberer over hele det infrarøde spekteret, men har størst betydning i "det atmosfæriske vinduet", 8-12 μm , hvor gassenes absorpsjon er forholdsvis liten (Figur 2).

Det er viktig å skille mellom atmosfærens totale drivhuseffekt, som vi nå har diskutert, og det menneskelige bidrag til drivhuseffekten. I den allmenne debatten blir ofte den sistnevnte kalt "drivhuseffekten", og dette skaper unødig forvirring. Vi vil her kalle det menneskeskapte bidraget for den forsterkede drivhuseffekt, i tråd med Houghton (2002). Denne utgjør pr. i dag cirka 1,6 prosent av den totale drivhuseffekten, men andelen er stadig økende.

Atmosfærens totale drivhuseffekt kan enkelt defineres som forskjellen i utgående infrarød stråling ved bakken og ved atmosfærens yttergrense. Den førstnevnte gir, siden globalmidlet bakketemperatur er $+15^\circ\text{C}$, en utstråling som er lik 390 Watt per kvadratmeter (W/m^2) fra Stefan-Boltzmanns lov. Utstrålingen ved atmosfærens yttergrense er bestemt fra satellittmålinger og er på ca. $235 \text{ W}/\text{m}^2$. Den totale drivhuseffekten er dermed $+155 \text{ W}/\text{m}^2$. Bidrag fra de forskjellige gassene

bestemmes ved å fjerne én gass om gangen, og beregne strålingspådrivet. I denne sammenheng er det nødvendig å korrigere for overlapp mellom de forskjellige bidragene. For eksempel vil vanddampens utstråling til verdensrommet være mindre når en sky er tilstede enn når det er skyfritt, ettersom skyene absorberer en del av den strålingen som vanddampen emitterer. Nedenfor vil vi presentere tall fra Kiehl og Trenberth (1997), hvor det er korrigert for dette overlappet. Dermed vil alle bidrag summeres opp til $+155 \text{ W}/\text{m}^2$. (I artikkelen av Kiehl og Trenberth er betydningen av overlapp ved forskjellige bølgelengder nærmere diskutert og kvantifisert.)

Skyenes bidrag til drivhuseffekten har vært estimert i ERBE-programmet (Earth Radiation Budget Experiment) til å være ca. $+30 \text{ W}/\text{m}^2$. Dette estimatet ble funnet ved å sammenligne "pixler" med og uten skyer, men under ellers like forhold. Således er skyer ansvarlige for 19 prosent av jordas drivhuseffekt. For de viktigste gassene er tallene som følger (Tabell 1): Vanddamp $75 \text{ W}/\text{m}^2$, dvs. 48 prosent; CO_2 $32 \text{ W}/\text{m}^2$, dvs. 21 prosent; ozon $10 \text{ W}/\text{m}^2$, dvs. 6,5 prosent; metan og lystgass $8 \text{ W}/\text{m}^2$, dvs. 5,2 prosent. Av dette følger at vann i forskjellige faser (gass, flytende, frosset) er direkte ansvarlig for 68 prosent av den totale drivhuseffekten, dvs. drøyt to tredeler (2/3), mens karbondioksid, metan og lystgass utgjør 26 prosent, dvs. drøyt en fjerdedel (1/4).

Disse prosenttallene, i likhet med tallet $155 \text{ W}/\text{m}^2$, vil nødvendigvis endre seg ettersom atmosfærens sammensetning endres. Konsentrasjonen av CO_2 er nå 36 prosent over den forindustrielle verdien, for metan er økningen hele 150 prosent, mens lystgasskonsentrasjonen er nesten 20 prosent over bakgrunnsnivået. Disse gassene, sammen med halokarboner, utgjør en forsterket drivhuseffekt, som nå er på ca.

$+2.5 \text{ W}/\text{m}^2$ (med bare liten usikkerhet), dvs. ca. 1/60 av den totale drivhuseffekten. Med dagens utslipp av disse gassene vil dette bidraget dobles i løpet av ca. 70 år.

Vi har til nå bevisst fokusert på førsteordens strålingseffekter, for å holde diskusjonen enkel og oversiktlig. I virkeligheten skjer det hele tiden en vekselvirkning mellom strålingspådriv og klimarespons. For eksempel vil fordampningen fra havområdene øke i et varmere klima, og dermed øker vanddampkonsentrasjonen i atmosfæren. Da vil vanddampens enestående evne til å absorbere og emitte varmestråling øke den oppvarming som den forsterkede drivhuseffekten forårsaker. Videre vil vanning (irrigasjon) gi et direkte bidrag til den forsterkede drivhuseffekten (se omtale av Myhre og Myhre i *Cicerone 5-2004*). Aerosoler, som avkjøler bakken kan til gjengjeld svekke den hydrologiske syklus (se omtale av Seip i *Cicerone 4-2004*), og dermed dempe økningen i vanddampkonsentrasjon.

Referanser:

- Houghton, J., 2002: *The physics of atmospheres. Third Edition*. Cambridge University Press, 320 pp.
- Kiehl, J. T., og Trenberth, K. E., 1997: Earth's annual global mean energy budget. *Bull. Am. Met. Soc.*, **78** (No.2), 197-208.

Tabell 1. Skyenes og de forskjellige gassenes bidrag til den totale drivhuseffekten. Enheter W/m^2 . Alle tallene er globale gjennomsnitt. [Fra Kiehl og Trenberth (1997).]

Skyer	30
Vanddamp (H_2O)	75
Karbondioksid (CO_2)	32
Ozon (O_3)	10
Metan (CH_4) og lystgass (N_2O)	8
Totalt	155

Jón Egill Kristjánsson

(j.e.kristjansson.geo.uio.no) er professor i meteorologi ved Institutt for geofag, Universitetet i Oslo. Han deltar i arbeidet med modellering av aerosolers innvirkning på klima i RegClim, og leder COMBINE prosjektet.