

Det første arktiske ozonhul



Foto: Colourbox

I foråret 2011 målte forskere det hidtil første ozonhul over Arktis.

Særlige atmosfæriske forhold gjorde, at menneskeskabte CFC-gasser fik optimale betingelser for at nedbryde ozon.

Af Carsten Ankjær Ludwigsen og Niels Larsen

■ Vi så i foråret 2011 en af de største menneskeskabte påvirkninger af atmosfæren på den nordlige halvkugle. En kombination af usædvanligt lave temperaturer i stratosfæren og en stabil polar hvirvelstrøm, gav industrigasser optimale betingelser til at skabe det første hul i ozonlaget på de nordlige breddegrader – men nok ikke det sidste.

Et internationalt forskerhold med deltagelse fra Danmarks Meteorologiske Institut målte i foråret 2011 på ozonlaget over Grønland og andre steder i Arktis, og resultatet viser det tyndeste lag af ozon, der er målt siden målingerne startede i 1979. Kli-

maforskerne er enige om, at der er tale om det første arktiske ozonhul.

Ozonhuller er ellers noget, vi tidligere kun har kendt i de antarktiske områder, hvor de siden 1980'erne er blevet udviklet hvert år i september og oktober måned og har haft konsekvenser for natur og mennesker på den sydlige halvkugle.

Ozon, O_3 , er en gasart som findes i hele atmosfæren – fra jordoverfladen til 100 km højde. Ved overfladen er den skadelig for dyr og planter og agerer samtidig som en drivhusgas. Dog har ozon også den særlige egenskab, at den i stratosfæ-



Foto: DMI

Ballon med måleudstyr gøres klar til at blive sendt op i atmosfæren.

ren (10-50 km højde) filtrerer Solens kortbølgede stråling. Disse ultraviolette stråler (UV-A og UV-B) er ikke kun skadelige for vores øjne og kan forårsage hudkræft, men kan også have indvirkninger på algeforekomster og andre mikroorganismer og dermed ændre jordens økosystemer.

Det meste af ozonen befinder sig i 15-25 km højde, og det er her ozonlaget befinder sig. Den samlede mængde af ozon i atmosfæren måles i Dobson enheder (DU), hvor 100 DU svarer til, at vi samler alt ozon, tager det ned til jordoverfladen og måler tykkelsen til at være 1 mm.

Lave målinger over Grønland

DMI har i samarbejde med Miljøstyrelsen opsendt heliumballoner over Pituffik (Thule Air Base) i det nordvestlige Grønland, som måler ozonkoncentrationen op gennem atmosfæren. Resultaterne viser, at ozonlaget i marts var under 280 DU, hvilket skal sammenlignes med de normale 450 DU for denne tid på året. I 15-20 km højde blev der nedbrudt over 80 % af ozonforekomsten – nok til at man kan tale om et hul i ozonlaget.

Der er målt tilsvarende lave værdier ved målinger i andre arktiske områder. Årsagen skal findes i en meget stabil polar hvirvelstrøm, som er en lukket ringformet bane omkring nordpolen med kraftige vinde. Den stabile polare hvirvelstrøm isolerer luftmasserne og forhindrer en blanding med mere ozonrig luft fra lavere breddegrader (se faktaboks).

Samtidig var temperaturerne inden for hvirvelstrømmen meget lave i en unormal lang periode, hvilket medførte en øget dannelse af de såkaldte polarstratosfæriske skyer. Det er på overfladen af disse mikrometer-små skyepartikler, at menneskeskabte klor- og bromforbindelser kan omdannes til reaktive former. Under påvirkning fra sollys nedbryder disse stoffer ozon (se faktaboks). Når temperaturen fortsat er så lav, når sollyset vender tilbage i de arktiske områder om foråret, giver det reaktive stoffer frit spil til at nedbryde store mængder ozon.

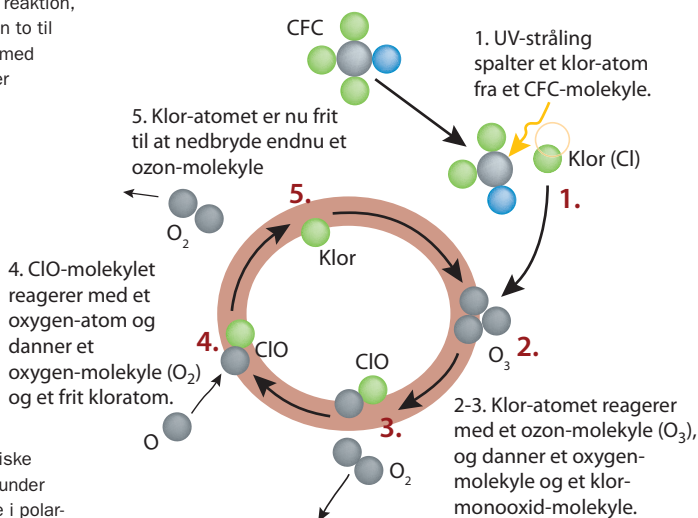
Våd sommer giver mindre stråling

UV-målinger fra København og Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord) viste en forøget UV-påvirkning i det første halvår af 2011, mens målingerne i juli og august lå under middelværdien for årene 2001-2010. UV-niveauet i februar og marts 2011 var for København henholdsvis 17 % og 13 % højere end gennemsnittet for de foregående ti år. Den modtagne UV-dosis er naturligvis ikke kun afhængig af ozonlagets tykkelse, men også af hvor meget Solen er fremme.

Nedbrydning af ozon

Figuren viser den vigtigste kemiske reaktion, der fører til nedbrydning af ozon. Trin to til fem kan gentage sig mange gange med det samme klor-atom. Udover klor er brom også en vigtig agent for nedbrydning af ozon.

Under normale betingelser begrænses ozonnedbrydningen, fordi det meste klor og brom findes i inaktive forbindelser (som HCl og ClONO₂). Men på overfladen af polarstratosfæriske skyer omdannes klor- og bromforbindelserne effektivt til reaktivt klor og brom, så ozonnedbrydningen accelererer. Polarstratosfæriske skyer dannes, når temperaturen er under -78 °C. Disse betingelser er til stede i polarområderne i vintermånederne.



Den polare hvirvelstrøm

Den polare hvirvelstrøm (eng.: polar vortex) er en tilnærmelsesvis cirkulær strøm af vinde ved begge Jordens poler i stratosfæren. Den opstår om vinteren, hvor der er store temperaturforskelle mellem lave og høje breddegrader. Vindene i den polare hvirvelstrøm gør, at luftmasserne inden for hvirvlen isoleres, og varmere luftlag fra lavere breddegrader ikke kan blandes med den kolde polare luft. På den måde, kan temperaturen inden for hvirvelstrømmen

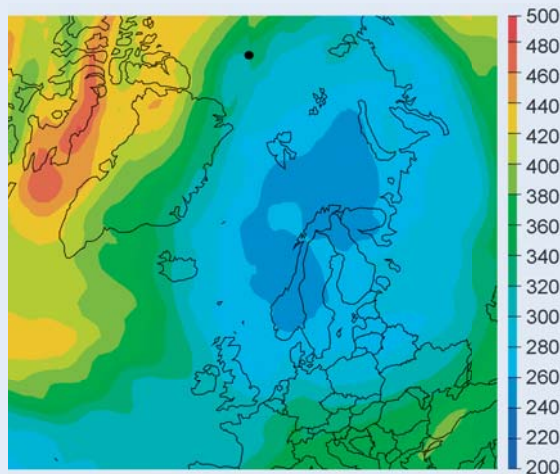
blive kold nok til at danne de såkaldte polarstratosfæriske skyer.

På overfladerne af iskrystallerne i skyerne omdannes klor- og bromforbindelser til ozonnedbrydende stoffer inden for den isolerende hvirvelstrøm. Normalt brydes hvirvelstrømmen op i starten af foråret, da Solens stråler varmer stratosfæren op og temperaturforskellen bliver mindre (se faktaboks om ozonnedbrydning og polarstratosfæriske skyer).

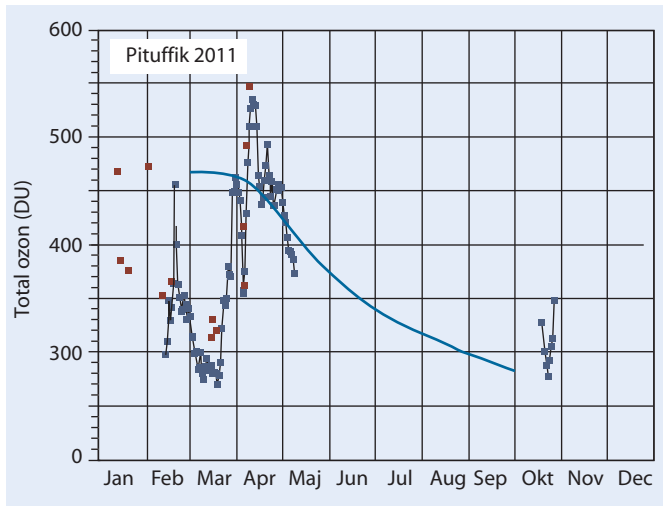
50K Pot. Vor.
011-03-30



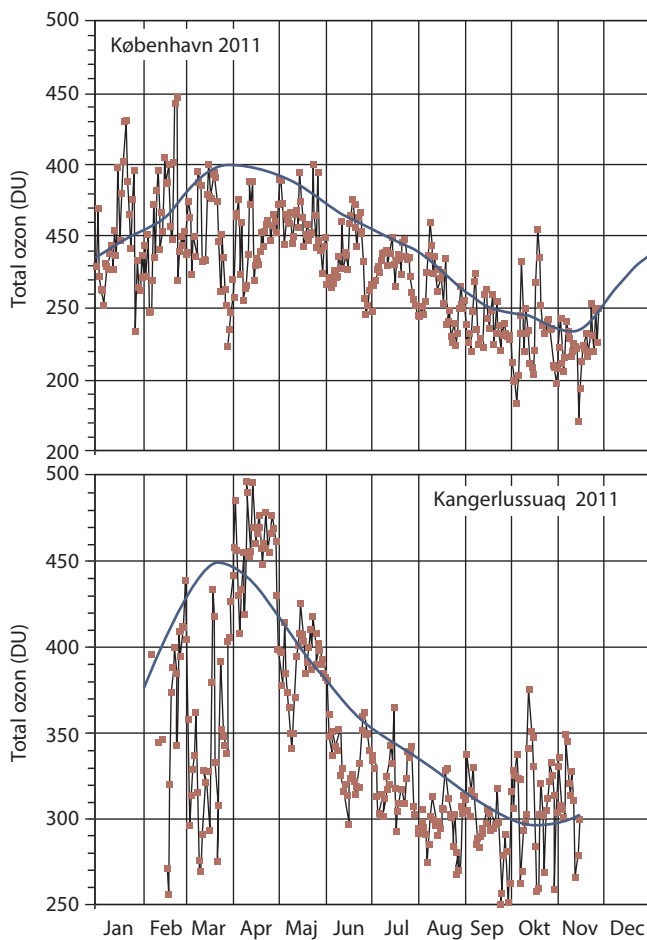
Den polare hvirvelstrøm placering den 30. marts 2011. Vindene i hvirvelstrømmen blæser i østlig retning. Det er inden for denne hvirvelstrøm, at der kan dannes polarstratosfæriske skyer, hvorpå der nedbrydes ozon.



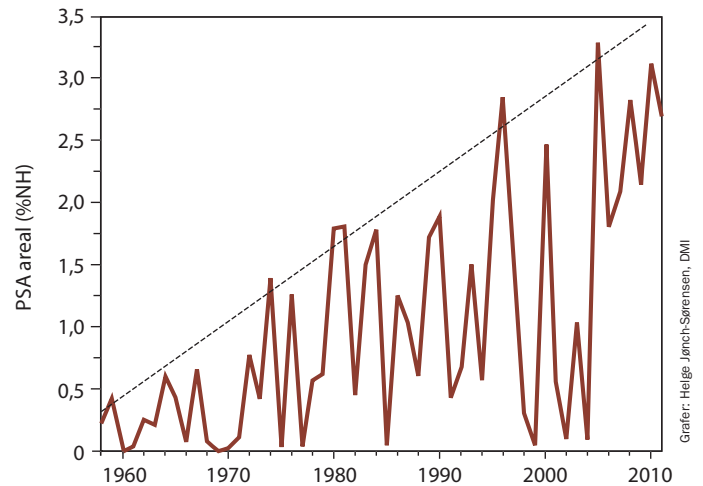
Tykkelsen af ozonlaget målt i Dobson-Units for den 30. marts 2011. Det ses, at det tynde ozonlag er gået langt ned over Skandinavien og også rammer Danmark, som lige akkurat ligger inden for hvirvelstrømmen.



DMI's målinger af tykkelsen af ozonlaget over Pituffik i løbet af foråret 2011 (sort kurve), samt middelværdien for perioden 1979 – 1988 (blå kurve). I midten af marts målte et usædvanligt tyndt ozonlag inden for den polare hvirvelstrøm. De røde prikker er DMI's ballonmålinger op gennem atmosfæren. I maj-august står solen for højt til, at DMI kan foretage målinger.



DMI's målinger af ozonlaget fra hhv. København og Kangerlussuaq (sort kurve), hvilket kan sammenlignes med middelværdien for perioden 1979 - 1988 (blå kurve). Over Kangerlussuaq er det især februar og marts, hvor ozonlaget var unormalt tyndt, hvorimod det over København i marts og april var tyndere end normalt. Det var i disse måneder, at den polare hvirvelstrøm svingede ned over Skandinavien.



Grafen viser det gennemsnitlige geografiske areal, dækket af polarstratosfæriske skyer (PSC), i procent af den nordlige halvkugles areal siden 1958. Vintrene med de største PSC-arealer er markeret med kvadrater og danner grundlaget for regressionslinjen. Man kan tydeligt se, at det maksimalt PSC-dækkede areal er blevet større, hvilket tyder på, at de kolde vintre i stratosfæren er blevet koldere.

Men da antallet af solskinstimer i februar og marts var tæt på gennemsnittet for de seneste ti år, er den øgede UV-dose sandsynligvis en effekt af ozonnedbrydningen i den polare hvirvelstrøm, som med mellemrum svingede ind over Danmark.

Selvom en 17 % øgning af UV-dosis er bemærkelsesværdig, skal det huskes, at UV-niveauet endnu ikke er særlig højt i starten af foråret, fordi solen stadig står lavt på himlen. Derfor er øgningen om foråret formodentlig ikke sundhedsskadelig, dog er det ikke usandsynligt, at den øgede UV-stråling kan have negative påvirkninger på økosystemer.

Ser vi på resten af 2011, var maj og juni måneder meget solrige, og UV-strålingen var derfor også over gennemsnitsværdierne for de måneder. Men fordi der i juli, august og september var mange perioder med tæt skydække, som reflekterer UV-strålingen, ligger den samlede UV-dosis for året under gennemsnittet.

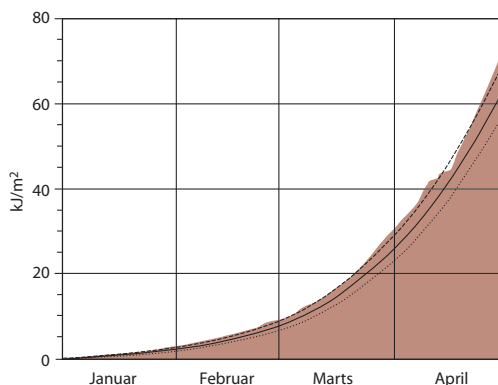
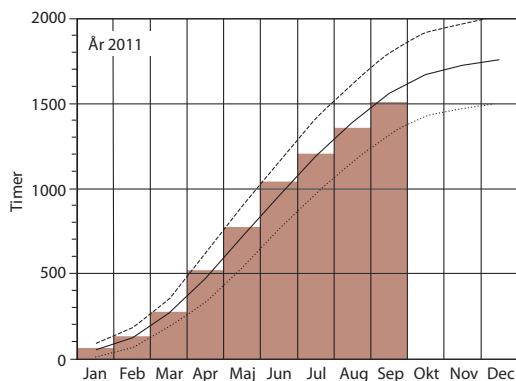
Målingerne fra Kangerlussuaq viser en øgning af UV-dosis på 15 %, 26 % og 5 % for februar, marts og april i forhold til gennemsnittet for de foregående år. Der er en tydelig sammenhæng mellem øgningen og figuren

med ozonlagets tykkelse, hvor man kan se, at ozonlaget når sin "normale" tykkelse i april.

Menneskeskabte klimaændringer skjuler positiv effekt

Under normale forhold aftager hvirvelstrømmen i slutningen af januar, og temperaturen stiger, hvilket begrænser den årlige ozonnedbrydning. Dog kommer der med få års mellemrum en lang, kold og stabil vinter i det arktiske ozonlag, som det var tilfældet i vinteren 2010/2011.

Der har de seneste årtier været en tendens til, at sådanne vintre bliver koldere og varer længere. Sandsynligvis er det en del af de menneskeskabte klimaændringer, som giver denne unormalitet. De infrarøde varmerstråler fra jorden bliver holdt tilbage af drivhusgasserne i troposfæren (0-10 km højde), og dermed kan de øvre liggende lag af atmosfæren ikke opvarmes nedefra. Samtidig udstråler stratosfæren mere langbølget stråling til verdensrummet. Ikke overraskende resulterer dette i en afkøling af stratosfæren. Mekanismerne bag denne udvikling mangler stadig at blive helt klarlagt, men uanset hvad så har en nedkøling af



Grafen: Helge Jørgensen, DMI

Akkumulerede solskinstimer sammenlignet med den akkumulerede UV-dosering over København. Den sorte linje svarer til gennemsnitsværdierne for 2001-2010 og de to prikkede linjer er standardafvigelsen. Det ses, at selvom solskinstimerne var "normale" i månederne februar, marts og april, var UV-strålingen hhv. 17 %, 13 % og 6 % højere.

Om forfatterne



Carsten Ankjær Ludwigsen er bachelorstuderende i Fysik studentermedhjælper ved Danmarks Klima Center



Niels Larsen er forskningsleder Danmarks Klima Center
E-mail: nl@dmu.dk

stratosfæren konsekvenser.

Det er dog samtidig vigtigt at pointere, at den globale miljøaftale Montreal-Protokollen, som forbyder produktionen og udslip af ozonnedbrydende stoffer, virker. Koncentrationen af nogle industrigasser i stratosfæren er stagneret eller endda faldet. Men mange af gasserne har en lang levetid på over 100 år i atmosfæren, så det er først om nogle årtier, vi for alvor ser effekterne fra protokollen. Indtil da giver kolde og lange vintre i atmosfærens høje lag fortsat en kraftig ozonnedbrydning over Arktis, og det kan ikke udelukkes, at den ozonfattige luft spredes ned til lavere breddegrader og kommer ind over Danmark.

Konsekvenser for 700 mio. mennesker

Hvis det skulle ske, at den ozonfattige luft om sommeren breder sig ned på lavere breddegrader, vil vi i perioder opleve øget ultraviolet stråling, som ud over at være en større hudkræftsrisko, bl.a. også kan ændre vilkårene for økosystemer, landbrug og natur. Nogle algetyper og andre mikroorganismer trives bedre ved øget ultraviolet stråling. Det kan forværre vandmiljøer i kystområder og ændre den biologiske fødekæde. I den sidste ende er der, udover naturen, ca. 700 millioner mennesker i Europa, Nordamerika og Rusland, som potentielt bliver påvirket af det tynde ozonlag over Arktis. ■



Foto: Aqallooraq Kielsen

Foto af de smukke polarstratosfæriske skyer. Billedet er taget den 30 Januar 2008 i Tasiilaq, Grønland

Polarstratosfæriske skyer - PSC

I modsætning til troposfæren, hvor luften er meget fugtig, er stratosfæren ekstremt tør. Det gør, at de fleste skyformationer opstår i troposfæren, hvor luften bliver mættet med vanddamp og danner skyer. Dog findes der også skyer i stratosfæren. Det kræver, at luftens temperatur kommer under ca. -78 °C, hvilket sker i de polare områder om vinteren, hvor der ikke kommer nogen varme fra solen. Ved så lave temperaturer kondenserer salpetersyre med vanddamp og danner faste eller flydende skypartikler (PSC type 1). Hvis temperaturen er 5-7 grader lavere, bliver luften mættet i forhold til is, og der kan dannes egentlige iskrystaller (PSC type 2). Jo koldere temperaturen er, desto flere polarstratosfæriske type-2 skyer bliver der dannet.

Da disse skyer dannes i op til 25 km højde, vil de ofte være belyst på undersiden ved solopgang og solnedgang. Set mod en mørk himmel, vil de derfor lyse op, ofte med et flot farvespil – dog ikke at forveksle med polarlys.

Videre læsning

<http://www.nature.com/nature/journal/v478/n7370/full/nature10556.html> (Den bærende artikel, hvor Niels Larsen er medforfatter)

www.dmi.dk/dmi/index/gronland/ozonlaget_over_groenland.htm (Jævnligt opdaterede målinger af ozonlaget over Grønland)

www.dmi.dk/dmi/foerste_arktiske_ozonhul_i_nature