

Ozon i den arktiske troposfære

Ozon (O_3) i atmosfæren er en vigtig klimagas – desuden er den giftig for dyr og mennesker samt skadelig for planter.



Af Henrik Skov, Claus Nordstrøm, Jens Hjorth, Jesper Christensen, Jakob B. Pernov, Kaj Mantzius Hansen og Zhuyun Ye, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

Ozon (O_3) forbindes ofte med det beskyttende lag i stratosfæren, men den findes også i troposfæren – de nederste cirka 10 kilometer af atmosfæren – hvor den både fungerer som drivhusgas og som luftforurening. Den er en central klimagas, samtidig med at den er giftig for dyr og mennesker og skadelig for planter. EU har for nylig opdateret retningslinjerne for tilladte ozonkoncentrationer. Indtil 2030 må ozon ikke overskride 60 ppbv (fra engelsk: parts per billion volume) mere end 25 gange årligt (treårigt gennemsnit). Derefter sænkes grænsen til 50 ppbv, som kun må overskrides tre gange årligt.

I figur 1, side 8, er vist bidraget til den samlede temperaturstigning fordelt på gasser og partikler.

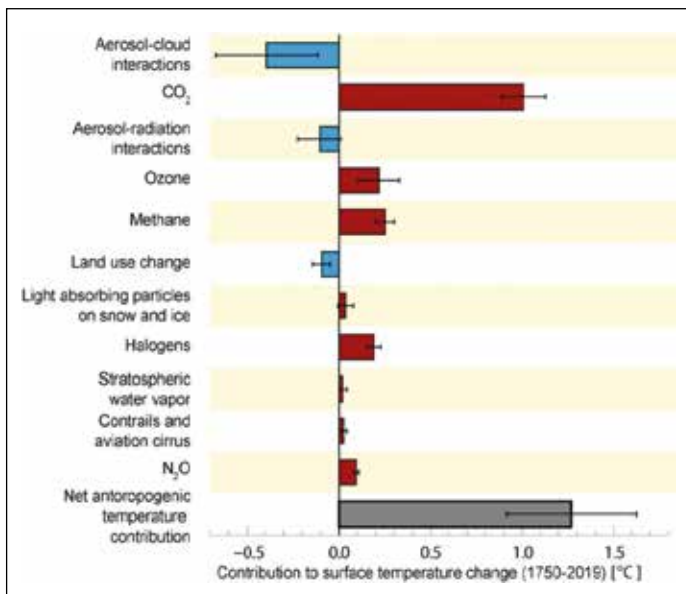
Ozon er den tredje vigtigste drivhusgas efter CO_2 og metan. På trods af dens betydning er de atmosfæriske processer, der styrer O_3 , ikke fuldt forstået – især ikke i Højarktis, hvor usikkerhederne er store. Derfor undersøger vi ozon ved Villum Research Station (VRS) på Station Nord i Nordøstgrønland.

Figur 2, side 8, viser beliggenheden af VRS på Station Nord (www.villumresearchstation.dk), hvor vi blandt andet måler O_3 .

På VRS har vi målt ozon siden 1995, dog med en pause fra 2002 til 2007, hvor stationen var lukket (se figur 3, side 9).

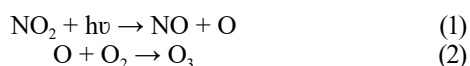
Målingerne viser en klar sæsonvariation

Vi har tidligere beskrevet, at O_3 og Hg^0 fjernes ved konkurrerende reaktioner med Br om foråret [1,2] og referencer deri, ►



Figur 1. Bidraget til observeret temperaturstigning fra før industriel tid til 2019 fordelt på gasser og partikler.

men hvilke processer bestemmer sommerkoncentrationerne af O₃? O₃ dannes i troposfæren ved fotolyse af NO₂:



O₃ blev målt med en Teledyne model 400T O₃ monitor. Måleprincippet er UV-absorption. Målingerne kalibreres mod en certificeret O₃-standard før og efter brug på VRS. I felten sikres kalibreringen ved på daglig basis at addere ren luft (uden ozon) og på ugentlig basis at lave en måling af en kendt mængde O₃ fra en intern O₃-kilde i apparatet, se for eksempel [1] for usikkerheder m.m.



Figur 2. Kort med beliggenheden af Station Nord i Nordøstgrønland, hvor Villum Research Station er placeret.

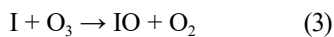
men NO₂ er meget lav i Arktis. Til gengæld er levetiden af ozon i troposfæren relativ lang (~ 1 uge), så derfor kan det langtransporteres fra mere sydlige breddegrader eller synke ned fra den øvre del af atmosfæren (den fri troposfære). Vi er derfor ved at undersøge, hvilke parametre der er vigtige for at forklare de observerede sommerkoncentrationer, da O₃ har den største påvirkning på strålingsbalancen (klimaet) om sommeren på grund af tilstedeværelsen af sollys, så den troposfæriske O₃ både er aktiv i UV- og infrarødområdet.

Vi analyserede vores resultater ved hjælp af tilbagetrajektorieberegninger for at se, om der var forskel på, hvor luftmasser kommer fra, når der var lave koncentrationer og når der var høje ozonkoncentrationer (se figur 4). Foreløbige analyser viser en klar sammenhæng mellem transport fra den fri troposfære, kendetegnet ved lav relativ fugtighed og forhøjet O₃. Trajektorierne viser, at luften er transporteret til VRS op over Indlandsisen og dermed ned fra over 3 kilometers højde.



Troposfæren er de første cirka 10 kilometer over jordoverfladen. Troposfæren er delt op i overfladelaget, der direkte er påvirket af jordfladen. Det er afgrænset fra den fri troposfære af det atmosfæriske inversionslag.

De lave værdier viser sig at blive målt, når luften kommer fra det Arktiske Ocean, hvilket stemmer fint overens med et tidligere studium, hvor vi undersøgte, hvilke processer der kan forklare de lave værdier om sommeren. Og her viser det sig at være halogenkemi i atmosfæren, der på årsbasis fjerner mest O₃, med I som vigtigst og Cl og Br som mindre vigtige [3].



Halogenerne i Arktis kommer hovedsageligt ved emission fra snedækket havis.

Konklusion

De foreløbige resultater peger på, at de højeste ozonkoncentrationer om sommeren ved Villum Research Station primært bestemmes af transport fra den frie troposfære. Dette er vigtigt for forståelsen af ozons rolle i Arktis,



Figur 3. O₃-målinger fra 1995 til 2024. Enhed er ppbv (engelsk: parts per billion volume). Den øverste figur viser alle målinger, mens den nederste kun viser sommerkoncentrationerne. De sorte linjer er henholdsvis årsmiddelværdier og sommermiddelværdier. De manglende data mellem 2002 og 2007 skyldes, at VRS var lukket i denne periode.

hvor dens klimatiske effekt er størst om sommeren på grund af sollysets tilstedeværelse, hvorimod lave koncentrationer skyldes halogenreaktioner, hvor I nok er den vigtigste reaktant og snedækket havis er vigtigste kilde.

Taksigelse

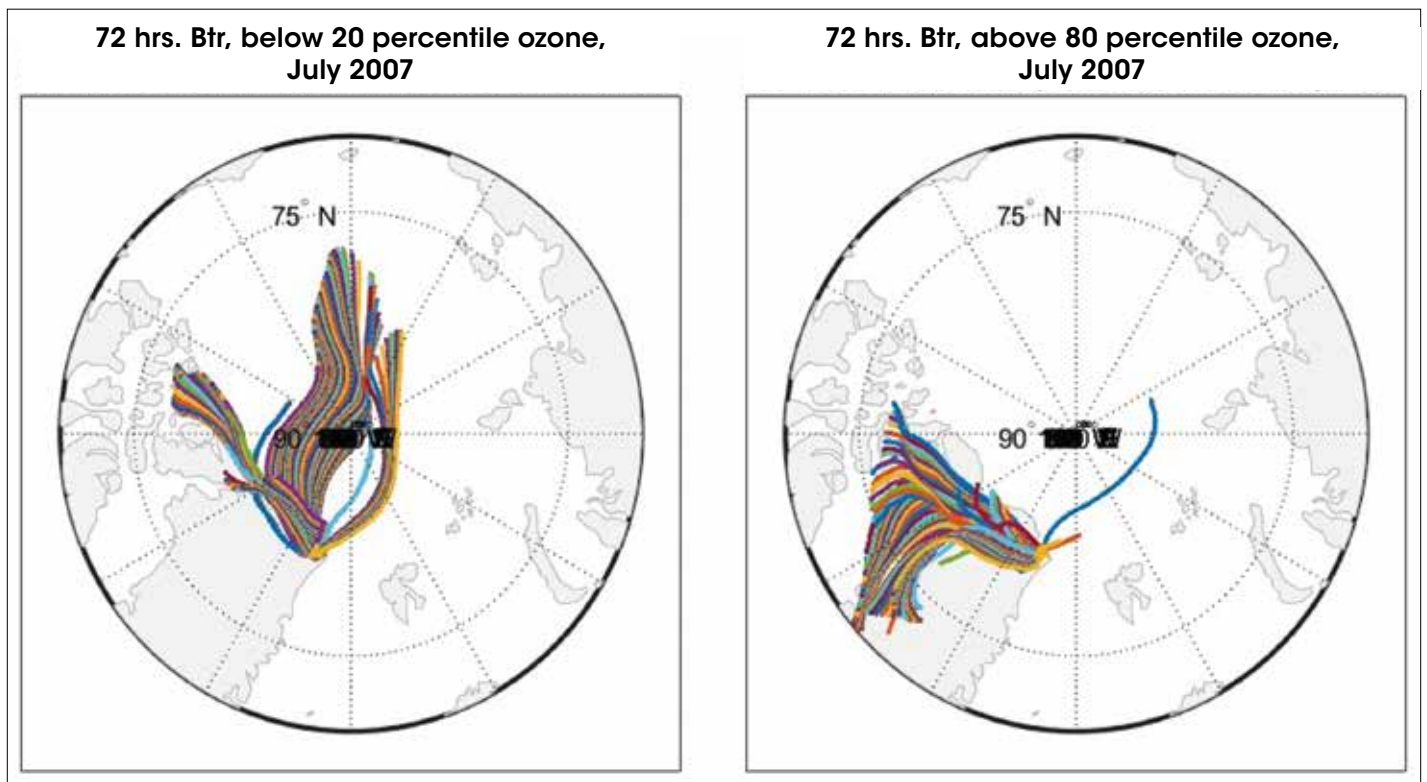
Miljøstyrelsen takkes for finansiel støtte via virkemidlet "Arktisk Miljøstøtte". Bjarne Jensen, Stephan Ingemann Bernberg og Christel Christoffersen takkes for deres gode tekniske arbejde med målingerne.

E-mail:

Henrik Skov: hsk@envs.au.dk

Referencer

1. Skov, H., J. Hjorth, C. Nordstrom, B. Jensen, C. Christoffersen, M.B. Poulsen, J.B. Liisberg, D. Beddows, M. Dall'Osto & J.H. Christensen (2020) Variability in gaseous elemental mercury at Villum Research Station, Station Nord, in North Greenland from 1999 to 2017. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 13253-13265.
2. Hjorth, J., J.B. Pernov & H. Skov (2024) Ozon ved Villum Research Station. *Dansk Kemi*, 2, 26-28.
3. Fernandez, R.P., L. Berná, O.G. Tomazzeli, A.S. Mahajan, Q.Y. Li, D.E. Kinnison, S.Y. Wang, J.F. Lamarque, S. Tilmes, H. Skov, C.A. Cuevas & A. Saiz-Lopez (2024) Arctic halogens reduce ozone in the northern mid-latitudes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121.



Figur 4. Eksempler på tilbagetrajektorieberegninger til bestemmelse af, hvor luftpakker kommer fra. Til venstre vises, hvor luften kommer fra, når der måles under 20 procent percentilen af koncentrationerne. Til højre vises, hvor luften kommer fra, når der måles over 80 procent percentilen af koncentrationerne.