



Kortlivede klimakomponenter i Arktis

Selvom det er meget vigtigt, at vi forstår kulstofkredsløbet, er det lige så vigtigt at forstå de kortlivede klimakomponenter i atmosfæren, dvs. gasarterne metan og ozon samt sodpartikler. De spiller en vigtig rolle i forhold til den eksisterende opvarmning af jorden og dermed også Arktis

Af Henrik Skov, Lise Lotte Sørensen, Michael E. Goodsite og Andreas Massling, Afdelingen for atmosfærisk miljø, Danmarks Miljøundersøgelse, Aarhus Universitet

De kortlivede drivhuskomponenter hedder sådan, fordi de forholdsvis hurtigt nedbrydes eller fjernes fra atmosfæren ift. det langlivede CO₂, der har en levetid i atmosfæren på mere end 100 år.

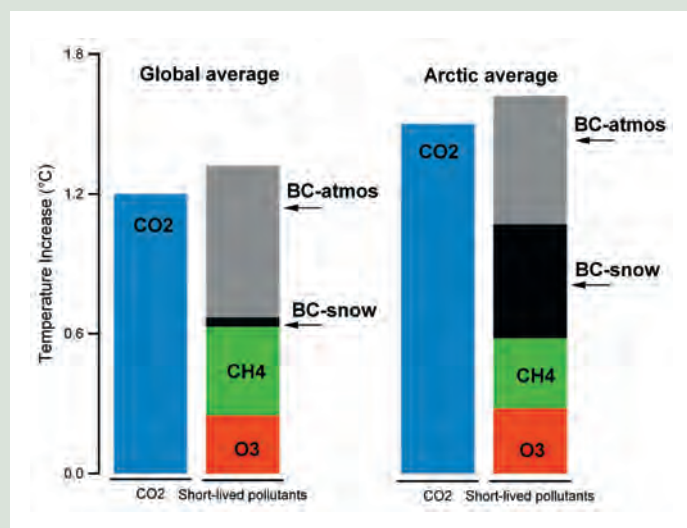
Kortlivede drivhuskomponenter er specielt interessante, fordi de giver en unik mulighed for at nedsætte koncentrationen ved at begrænse udledningen. Det betyder, at vi vil se umiddelbare resultater, hvorimod reduktion af de langlivede klimagasser, såsom CO₂, først viser resultater om ca. 100 år.

Den største stigning i temperaturen er observeret i Arktis, herunder Grønland. Grønland er en del af Rigsfællesskabet, og dermed er det også Rigsfællesskabets ansvar at beskytte det grønlandske miljø. Det varetages bl.a. igennem tilslutning til diverse konventioner: Gøteborg-protokollen og konventionen "Convention on Long-range Transboundary Air Pollution" under FNs miljøprogram UNEP. Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) sørger for miljø- og klimaovervågning inden for programmet "Arctic Monitoring and Assessment Program", der er det danske bidrag til AMAP. I forlængelse af denne overvågning har DMU en række forskningsprojekter, hvor en vigtig aktivitet er at undervise studerende i at forstå de komplicerede processer bag de kortlivede drivhuskomponenter.

Som tidligere nævnt er den globale opvarmning størst i Arktis. Faktisk opvarmes Arktis ifølge en rapport fra Arctic Climate Impact Assessment [1] dobbelt så hurtigt som resten af kloden. Halvdelen af denne opvarmning tilskrives øgede CO₂-koncentrationer, mens den resterende opvarmning sandsynligvis kan forklares med øgede koncentrationer af de kortlivede klimakomponenter som metan (CH₄), ozon (O₃) og atmosfæriske partikler, hvoraf sodpartikler er de vigtigste. Fælles for dem er, at de har en levetid på mindre end 10 år. Især kan sod (også kaldet black carbon, BC) være meget vigtigt, idet den ændrer sneens og isens farve, når den afsættes. Derved øges overfladens evne til at optage varme fra solens stråler med efterfølgende hurtigere smeltning (Skov et al. ibid). Figur 1 viser, hvor meget de kortlivede klimakomponenter bidrager til øget opvarmning.

Metan: CH₄

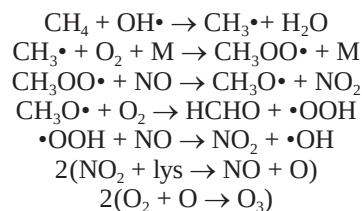
Siden den industrielle revolution har en øget menneskelig aktivitet medført en stigning fra 0,7 ppm (µmol/mol) til en metankoncentration på 1,8 ppm i atmosfæren. Koncentrationen forventes at vokse yderligere pga. øget brændstofforbrug, landbrug og fra højere temperaturer på jorden, der igen kan forårsage eskaleret emission fra naturlige kilder, f.eks. optøning af permafrost. Efter i en årrække at have haft et fald i stigningen af koncentrationen, er der nu igen en stigning på 10 ppbv år⁻¹ [3].



Figur 1. Årlig middel temperaturstigning forårsaget af CO₂ og kortlivede drivhuskomponenter ift. før industrialiseringen. Globale middelværdier er vist til venstre og arktiske middelværdier til højre. De globale værdier er baseret på IPCC (2007). De arktiske værdier er baseret på [2]. BC er black carbon = sod.

Menneskeskabte kilder udgør 2/3 af alt emitteret metan. Her er kulafbrænding og gasproduktion, distribution og anvendelse vigtige, men også landbrug (dyrehold og især risproduktion) og afbrænding af biomasse er vigtige kilder. Med en atmosfærisk levetid på ca. 9 år har metan en meget kortere levetid end CO₂, men dens levetid er stadig lang nok til, at den kan transporteres overalt på jorden. Metan er efter CO₂ den næstvigtigste drivhuskomponent (vi ser her bort fra vanddamp). På molekylniveau er det en langt stærkere drivhusgas end CO₂, hvilket betyder, at klimaet er mere følsomt over for

Boks 1: Metanoxidation



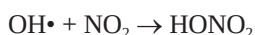


en øget koncentration af metan. Metan har ud over en direkte strålingseffekt også en indirekte effekt igennem kemiske reaktioner, der fører til dannelse af andre klimakomponenter deriblandt troposfærisk ozon.

Metan oxideres ikke direkte af atmosfærens ilt, da dens reaktion er alt for langsom. Derimod reagerer metan først med et hydroxylradikal (OH) (der selv er dannet ved fotolyse af ozon efterfulgt af reaktion med vanddamp), og når der er kvælstofoxider (NO_x), og sollys får man dannet ozon.

Metan oxideres til formaldehyd (HCHO) og vand (H₂O), uden der forbruges OH eller NO. Sidstnævnte gendannes, og man siger, at reaktionerne er katalytiske i OH og NO. Reaktionerne kan derfor fortsætte i det uendelige, men f.eks. reagerer hydroxylradikaler og kvælstofdioxid også med hinanden under dannelse af salpetersyre (boks 2), der derefter hurtigt fjernes fra atmosfæren enten ved udvaskning med regn eller ved tør-afsætning på jordoverfladen.

Boks 2: Termineringsreaktion



Ozon: O₃

I troposfæren (de nederste 10 km af atmosfæren, hvor alt vejr foregår) virker ozon som de andre klimagasser kuldioxid og metan, der absorberer langbølget stråling, og medvirker derved til en opvarmning af atmosfæren. Desuden er ozon skadelig for mennesker, dyr og vegetation. Både observationer og modelstu-

dier viser, at ozonkoncentrationen i atmosfæren, som hovedsageligt er kontrolleret af fotokemisk produktion, er 3-doblet siden starten af industrialiseringen [3].

Ozon dannes i lys ved kemiske reaktioner som vist i boks 1, men dannes også fra oxidationen af CO og ved oxidation af større organiske molekyler end metan, der alle kan stamme fra menneskeskabte kilder som fossilt brændstof, biomasseafbrænding og industrielle processer, men også fra naturlige kilder som træer. Igen spiller hydroxylradikalet en central rolle, som det der starter reaktionerne. Det har som før nævnt vist sig, at koncentrationen af CO (og CO₂) er afgørende for, om oxidationen i boks 1 giver ozon eller ikke. NO og NO₂ dannes alle ved forbrændingsprocesser, der forløber ved høj temperatur, og de er derfor i høj grad også knyttet til afbrænding af kul og olie. Da NO og NO₂ har en levetid på ca. 1 dag i atmosfæren, når de normalt ikke særlig langt, mens ozon dannet i f.eks. Nordeuropa i vinterhalvåret kan transporteres hele vejen til Arktis.

Atmosfæriske partikler

Atmosfæriske partikler har både en indirekte og en direkte effekt på klimaet og virker også som transportcontainere for forurening. Partikler påvirker klimaet indirekte ved skydannelse og sodafsætning. Begge dele påvirker solstrålernes refleksion (albedoen) på overfladen af sneen (fører til opvarmning) eller skyerne (virker kølende), figur 1 og (Skov et al. ibid).

Den direkte effekt er forårsaget af partiklernes evne til at absorbere eller reflektere solens stråler, men om partiklerne gør det ene eller det andet afhænger af partiklens sammensætning, der er påvirket af partiklens kilde og transporthistorie. Mørke sodpartikler absorberer sollyset og udsender det igen som lang-

LAGERTEKNIK TIL FARLIGT GODS



DENIOS.
MILJØBESKYTTELSE OG SIKKERHED



- Walk-in farligt gods lager
- Walk-in brandsikringslager
- Reollager til farlige stoffer
- Brandsikker reollager
- Nøglefærdig lager til farlige stoffer
- Individuelle løsninger



» Løsninger til lagring af farlige stoffer i henhold til loven «

Bestil vores gratis brochure "Lagerteknik til farligt gods" med det samme.

Telefon 76 24 40 80 eller www.denios.dk



bølget varmestråling, hvilket fører til opvarmning af atmosfæren. Partikler med stort indhold af vand eller sulfat reflekterer sollyset og medvirker til en afkøling af atmosfæren om sommeren. Det er derfor vigtigt at vide, hvilke type partikler der transporteres til Arktis, hvordan de omdannes undervejs (deres transporthistorie), og hvordan de opblandes i atmosfæren.

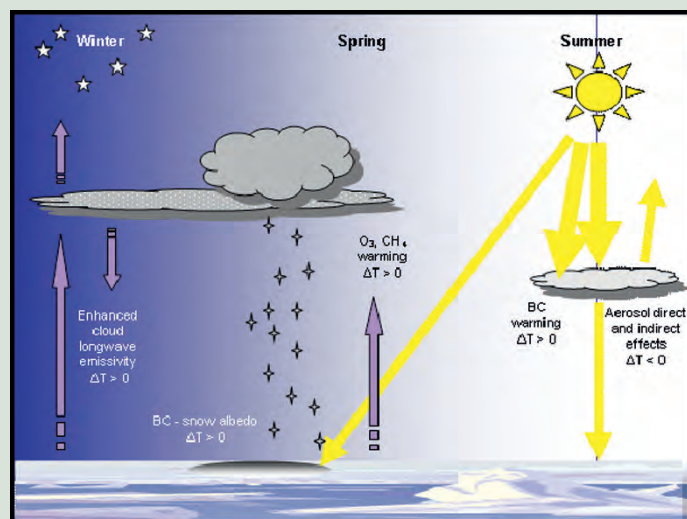
Tidligere beregninger viser, at koncentrationen af BC nord for den arktiske cirkel tæt ved jordoverfladen er ca. 65 ng/m^3 , hvoraf 30% kommer fra europæiske kilder – typisk fra afbrænding i kulkraftværker og lignende afbrændingsprocesser [4]. Tidligere målinger viser, at på Station Nord er der tydelig forskel på koncentrationen mellem partikulært bundet sulfat og svovldioxid fra sommer til vinter med højeste koncentrationer om vinteren (Skov et al. ibid), hvor polarfronten har bevæget sig længere mod syd, så de to stationer ikke er atmosfærisk isolerede fra menneskeskabte kilder i Nordamerika, Europa og Rusland [5]. Desuden skal det bemærkes, at partikler i Arktis om vinteren kun har en opvarmende effekt, fordi der ikke er noget sollys, der kan reflekteres, figur 2.

Sod har også en varmende virkning, når det afsættes til sneoverfladen, fordi det så "sværter" sneen sort.

Men er det overhovedet muligt at få transporteret forureningskomponenter fra fjerne kilder ned til overfladen igennem de ofte meget stabile atmosfæriske grænselag, der især findes om vinteren, og hvis ja, hvor ofte sker det, og hvor meget kommer ned?

Vertikal opblanding

Atmosfæren over kolde overflader er normalt stabil, fordi den nederste luftmasse bliver relativt koldere end luften ovenover, hvilket bevirker, at luftforurening inkl. sod ikke kan transporteres ned til jordoverfladen. Hvis luften derimod er relativt koldere end overfladen, får man en opvarmning af luftmassen nedefra og luften bliver ustabil, og man får en øget opblanding. Ved høje vindhastigheder vil man næsten altid have neutrale forhold, hvilket betyder, at man også her har en opblanding af atmosfæren. I de mørke vintermåneder er luften stabil over Arktis bortset fra perioder med høje vindhastigheder. Men når solen står op efter den lange polarvinter og opvarmer overfladen, bliver atmosfæren mere ustabil. I en stabil atmosfære afsættes luftforurening til jordoverfladen kun, når det sner, hvorimod den kan afsættes ved tørfafsætning, når atmosfæren er ustabil. Derfor er det meget vigtigt at få en god beskrivelse af den vertikale temperatur. Og i Arktis er atmosfærens stabilitet



Figur 2. Skematisk figur over strålingsbalancen i Arktis om vinteren (helt til venstre, forår (i midten) og om sommeren (til højre) [2,6].

og dermed den vertikale opblanding samt profil mangelfuldt beskrevet. Det er derfor nødvendigt at måle den for bedre at kunne beskrive afsætningen af stoffer som f.eks. sod. Dette vil vi gøre i et nyt projekt finansieret af Miljøstyrelsen.

Øget sejlads via Nordvestpassagen

Havisens udbredelse i Arktis har ændret sig igennem de sidste årtier, og inden for en årrække er det blevet muligt at anvende Nordvestpassagen til fragt en større del af året. Denne ændring i isudbredelsen er sandsynligvis en effekt af højere temperatur og mere snavset is pga. f.eks. sod.

Udvides sejladsen i Nordvestpassagen, vil det betyde en øget lokal emission af både partikler og drivhusgasser til den arktiske atmosfære. Da Nordvestpassagen størstedelen af året vil ligge på nordsiden af polarfronten, vil disse emissioner altid have stor direkte indflydelse på Arktis.

Indsats nødvendig i fremtiden

For at opfylde Danmarks forpligtigelser inden for Rigsfællesskabet om beskyttelse af det grønlandske miljø og bidrag til protokoller om troposfærisk ozon under konventionen "Convention on Long-range Transboundary Air Pollution" under UNEP, er det nødvendigt at opbygge viden om klimatiske faktorerers indvirkning på de fysiske og kemiske processer, som påvirker niveauer, deponering og transport af langtransporteret forurening. Disse kan bedst opfyldes vha. en kombination af både målinger og matematiske modeller til at kvantificere de kortlivede klimakomponenter: partikler (herunder sod), metan og ozon i det højarktiske område. Ud over at overholde konventionerne er det meget vigtigt at have styr på, hvordan klimaet opfører sig fremover i Arktis, dels for at beskytte det grønlandske miljø, og dels for at kunne begrænse de negative globale konsekvenser som højere temperaturer i Arktis vil have. F.eks. vil afsmeltning af indlandsisen på Grønland medføre havvandsstigning, hvilket vil have direkte effekt på Danmark.

Taksigelse

Miljøstyrelsen takkes for støtte til dette projekt via DANCEA Fonden for miljøstøtte til den arktiske region. Resultaterne og konklusionen repræsenterer ikke nødvendigvis Miljøstyrelsens holdninger. Det Danske Luftvåben takkes for dets hjælp med infrastruktur og hjælp på Stationen.

E-mail:
Henrik Skov: hsk@dmu.dk

T	14	20	21	R	27	N	T
I		K	A	26	29	T	G
N	21	R	R	A	C	34/33	L
24	23	32/28	32	6	2	O	2
						V	O

KEMIKRYDS

Se Kemikryds



Side 33, 4 vandret



Referencer

1. Hassol, S. J. (2004): ASIA, Impacts of a Warming Arctic, ARCTIC CLIMATE IMPACT ASSESSMENT. Cambridge University Press.
2. Quinn, P. K., Bates, T. S., Baum, E., Doubleday, N., Fiore, A. M., Flanner, M., Fridlind, A., Garrett, T. J., Koch, D., Menon, S., Shindell, D., Stohl, A. and Warren, S. G. (2008): Short-lived pollutants in the Arctic: their climate impact and possible mitigation strategies. Atmospheric Chemistry and Physics 8, 1723-1735.
3. Isaksen, I. S. A., Granier, C., Myhre, G., Bernsten, T. K., Dalsoren, S. B., Gauss, M., Klimont, Z., Benestad, R., Bousquet, P., Collins, W., Cox, T., Eyring, V., Fowler, D., Fuzzi, S., Jockel, P., Laj, P., Lohmann, U., Maione, M., Monks, P., Prevo, A. S. H., Raes, F., Richter, A., Rognnerud, B., Schulz, M., Shindell, D., Stevenson, D. S., Storelvmo, T., Wang, W. C., van Weele, M., Wild, M. and Wuebbles, D. (2009): Atmospheric composition change: Climate-Chemistry interactions. Atmospheric Environment 43, 5138-5192.
4. Law, K. S. and Stohl, A. (2007): Arctic Air Pollution: Origins and Impacts. Science 315, 1537-1540.
5. Heidam, N. Z., Christensen, J., Wählin, P. and Skov, H. (2004): Arctic atmospheric contaminants in NE Greenland: levels, variations, origins, transport, transformations and trends 1990-2001. Science of the Total Environment 331, 5-28.
6. Huntington, H. P. (2009): Update on selected climate issues of concern. Arctic Monitoring and Assessment Programme. AMAP.

Skyers grundtrin udsat for grundforskning

En forsker fra Kemisk Institut, KU kan nu forvente at blive Philosophical Doctor for sine undersøgelser, af hvad der skal til for at vanddamp kan danne skyer. Det lyder basalt. Og det er det også. Så basalt at den kommende ph.d. Nønne Prisle har formået at belyse hele to trin i skydannelseprocessen, som ingen tidligere har undersøgt.



Det er umuligt at forudsige klimaets udvikling, hvis man ikke kan simulere, hvordan de enkelte skyer bliver til. Men det er en uhyre kompleks proces. Bl.a.

fordi skyernes dråber bliver til, når enkelte vandmolekyler møder små partikler frit svævende i luften. Og partiklerne er meget små. Nønne Prisle forklarer, at partiklerne består af lige så lidt materiale, som hvis man sætter et fingeraftryk på en ren bordplade, og

skraber aftrykket sammen. Da Prisle indledte sit ph.d.-projekt ved Kemisk Instituts klimakemiske gruppe, manglede der viden, både om hvordan de mikroskopiske partikler bliver til, og hvilke forhold der skal til, for at vand vil fortættes på partiklerne.

Efter tre års forskning er hun kommet lidt tættere på at gennemskue den diminutive luftballet. Men det har krævet mange eksperimenter.

- Man starter fra bunden, og så opdager man, at bunden er bredere end forventet. For der manglede data om alt for mange ting, siger Prisle med et smil. Til gengæld for det hårde arbejde med eksperimenter og teori, mener hun nu, at hendes resultater kan bruges til at justere de eksisterende matematiske klimasimulationer.

- Jeg har nok bidraget med en lillebitte, men alligevel væsentlig detalje til forståelse af organiske partiklers betydning for skydannelse, slutter hun.

Få førstehandsviden om alle mekaniske processer som f.eks. findeling, sigteteknik, blandemetoder og granulering!

Instrumenter, maskiner og komponenter står klar til at tage imod dig på POWTECH, det europæiske teknologiforum for proces teknologi og instrumentation. Tre dages koncentreret viden præsenteres i kompakt form, og du bliver opdateret med banebrydende nyheder omkring optimering og forbedring af kemiske processer. Yderligere information:

www.powtech.de/chemie

En kraftfuld kombination - the POWDER & BULK NETWORK. Drag nytte af forretningsnetværk for eksperter!

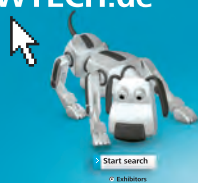
Yderligere information på:

www.powderbulknetwork.com

Søg og find!

www.ask-POWTECH.de

Her finder De alle udstillere og produkter!



Nürnberg, Tyskland
27. – 29.4.2010



POWTECH 2010

International fagmesse for mekanisk
proces teknologi og instrumentation



Sideløbende med



WCPT62010

World Congress on Particle Technology,
supported by PARTEC

Arrangør

NürnbergMesse GmbH
Tel +49 (0) 9 11.86 06-49 44
visitorservice@nuernbergmesse.de

Yderligere information

Strauss & Partnerne
Tel +45.70 20 21 81
danmark@nuernbergmesse.com

Protector



VDI-Gesellschaft
Verfahrenstechnik und
Chemieingenieurwesen

Indgangsbilletter med rabat bestilles
online på:

www.powtech.de/ticketshop

Yderligere information om messen:

www.powtech.de

NÜRNBERG MESSE