



Hygroskopiske egenskaber af atmosfæriske partikler i Arktis

De atmosfæriske partikler som udgør forårets Arctic haze i Nordgrønland er stærkt hygroskope. Deres evne til at optage vand fra luften bestemmer deres størrelse og dermed deres evne til at sprede lys og deres evne til at danne skyer, egenskaber som påvirker det regionale klima. Disse egenskaber er målt på Villum Research Station i april-maj 2016.

Af Robert Lange og Andreas Massling,
Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

De atmosfæriske partikler, som findes i forårs månederne i Arktis optager effektivt fugtighed fra luften og er effektive kerner for skydannelse. Disse egenskaber, som er afhængige af partiklernes størrelse og kemiske sammensætning, er afgørende for partiklers klimapåvirkning. Det arktiske klima er særligt følsomt over for udefra kommende påvirkninger, og de her beskrevne egenskaber er mulige grunde til den hurtige opvarmning af Arktis.

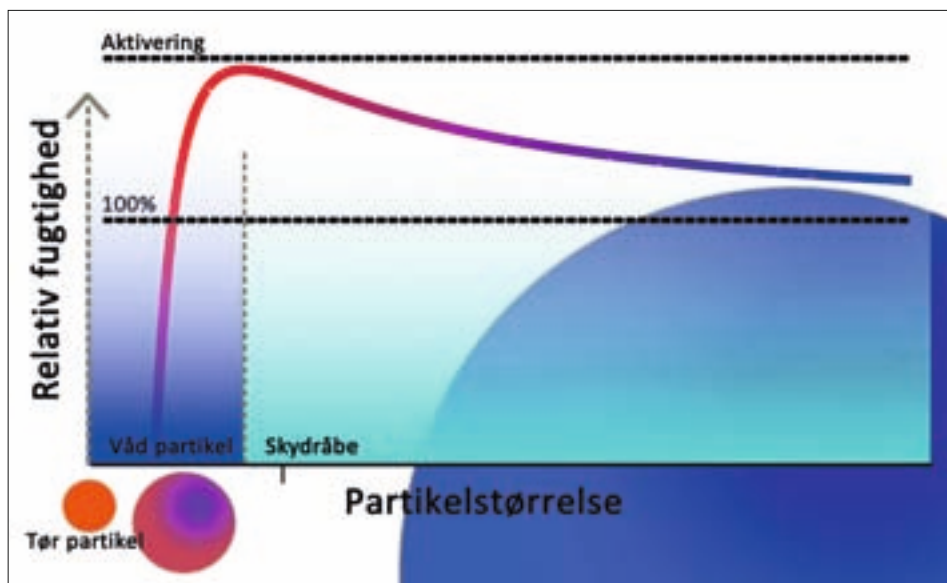
Baggrund

De partikler, som findes i stort antal i atmosfæren, har afgørende virkning på klimaet. Det sker både igennem interaktion med indgående solstråling og udgående jordstråling samt skydannelse [1]. Partiklerne interagerer med luftens fugtighed og partikler, som indeholder hygroskopisk materiale, optager vand fra den omkringliggende luft. Den atmosfæriske vand-damp er i denne situation i ligevægt med vandet i partikelfasen og den resulterende hygroskopiske vækst påvirker bl.a. partiklernes lysspredning. Er luften tilstrækkeligt overmættet med vand, forlader partiklen ligevægtstilstanden og kondensationen

af vand er kun kinetisk begrænset, figur 1. Partiklens størrelse vokser da eksplosivt, og der dannes skydråber. Overordnet set er partikler i størrelsesordenen 50-300 nm, som indeholder hygroscopiske salte, vigtigst for skydannelsen igennem denne proces. Disse har således indflydelse på klimaet. Ligevægten for kondenseringen af vanddamp på en partikel er beskrevet af Köhlerligningen, som sammenfatter effekten af opløste stoffer og ioner, samt effekten af partikeloverfladens krumning:

$$\frac{p_{\text{sat}}}{p_0} = a_w \cdot \exp\left(\frac{4\sigma M_w}{RT\rho d_p}\right)$$

Her er p_{sat} vands damptryk over partiklen, p_0 er damptrykket over en flad overflade af rent vand, a_w er vandaktiviteten i partiklen, σ er overfladespændingen, ρ er densiteten, d_p er partikeldiameteren, R er gaskonstanten og T er den absolutte temperatur. Ligningens maksimumpunkt definerer den partikelspecifikke kritiske overmætning. Når denne overskrides, fører det til skydråbedannelse.



Figur 1. Grafisk repræsentation af Köhlerligningen. Den vandrette akse angiver partikelstørrelsen, mens den lodrette akse angiver luftens relative fugtighed. Selvom aksernes rækkefølge kan virke kontraintuitiv er der tradition herfor, således at en givet relativ luftfugtighed fører til en bestemt partikelstørrelse. Oplever en tør partikel luftfugtighed, optager den vand og vokser som beskrevet ved kurven. Stiger den relative luftfugtighed yderligere til en værdi over kurvens maksimum, overskrides aktiveringspunktet og partiklen vokser uhæmmet og bliver til en skydråbe. At aktiveringen er højere end 100% relativ luftfugtighed skyldes meget små partiklers stærke overfladekrumning, en sådan overmætning opnås igennem for eksempel afkøling af luften.



Yara Praxair er blevet til Praxair

Praxair er et af verdens førende industrigasselskaber.

Vores nye navn indebærer fortsat fokus på sikkerhed og på udvikling af nye produkter og teknologi.

Vi fastholder vores lokale tilstedeværelse gennem vores landsdækkende forhandlernet, der sikrer fleksibilitet og leveringssikkerhed.

Vi ser frem til at yde service i verdensklasse til vores kunder på alle områder indenfor tøris, industri-, levnedsmiddel-, medicinske- og specialgasser.

Nyt navn, nye kompetencer og ny teknologi, men fortsat lokal forankring!

www.praxair.dk

PRAXAIR
Making our planet more productive

Målinger i Arktis

I Arktis findes nogle af jordens mest upåvirkede miljøer. Dog kendes der siden 1950'erne til et fænomen, betegnet som Arctic haze, hvor partikelkoncentrationen i forårsmånederne er tydeligt forhøjet og sigtbarheden er nedsat. Fænomenet er i høj grad forårsaget af menneskeskabt partikelforurening, som er transporteret hertil, og de naturligt meget lave partikelkoncentrationer gør det arktiske klima særligt følsomt over for forøgelser heraf [2]. Interaktionen mellem de tilførte partikler og det regionale klima er ikke fuldstændigt klarlagt endnu, men den deraf resulterende effekt lader til at være en opvarmning [3].

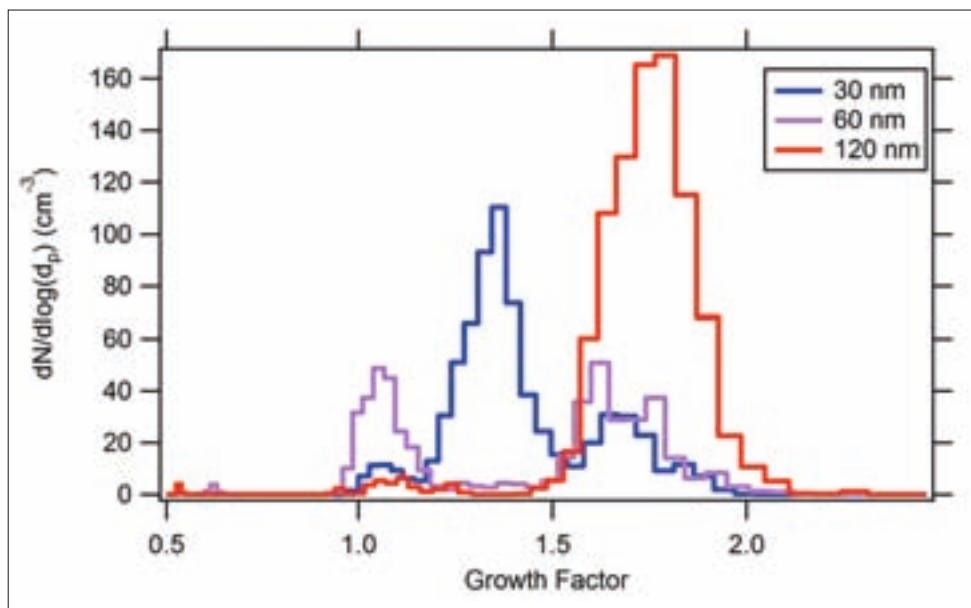
På Institut for Miljøvidenskab ved Aarhus Universitet ønsker vi at forstå, hvordan atmosfæriske partikler og Arctic haze påvirker det regionale klima i Arktis. Derfor har vi for nyligt gennemført en målekampagne på Villum Research Station (VRS) i

Nordgrønland, hvor to instrumenter som måler partikel-hygroskopisk vækst og skydannelsesegenskaber blev anvendt. Disse instrumenter er en Humidified Tandem Differential Mobility Analyzer (HTDMA) og en Cloud Condensation Nuclei Counter (CCNC). Ved anvendelse af disse er det lykkedes at få et unikt datasæt, som kaster lys over de hygroskopiske egenskaber af Arctic Haze-partikler. Derudover har vi på VRS globalt enestående programmer for kontinuerte målinger af partikelstørrelsesfordelingen samt en række kemiske og fysiske parametre.

Foreløbige resultater

Under transporten til Arktis fra sydligere regioner, udsættes partiklerne for atmosfærisk aldring, som bl.a. medfører oxidering og koagulering af mindre partikler til større. Fremskreden oxidering betyder oftest forhøjet hygroskopicitet, altså stort vandoptag og effektiv dannelse af skydråber. Vi er i skrivende stund i et meget tidligt stadie af databehandlingen, men kan allerede nu tydeligt se, at partiklerne har høj hygroskopicitet. Vi observerede, at ved en relativ luftfugtighed på 88% havde partiklerne en vækstfaktor på omtrent 1.5 og ved 90% omtrent på 1.6. Ofte udviste partikeldistributionen kun en enkelt vækstfaktor som resultat af intern blanding, men vi så også eksempler på det modsatte. Antallet af sammenlignelige studier af hygroskopisk vækst fra Arktis er stærkt begrænset [4], men faktorer på 1,19 og 1,44 er observeret [5]. I figur 2 ses, hvordan små partikler med en diameter omkring 30 nm primært har lav hygroskopicitet, partikler omkring 60 nm består både af partikler med lav og høj hygroskopicitet, hvorimod partiklerne omkring 120 nm overvejende har høj hygroskopicitet. Generelt observeredes der allerede ved en overmætning på 0.1%, den laveste mulige indstilling på CCNC'en, en høj andel af skydråber (ca. 50%). Ved 0.3% overmætning var næsten samtlige partikler omdannet til skydråber. Dette indikerer, at partiklerne er præget af et højt indhold af bl.a. sulfat og oxiderede organiske stoffer, hvilket også er set tidligere [6,7]. Fremtidig analyse af partikelkemidata fra parallelle målinger vil give større sikkerhed herom.

Gennem analyse af de indtil nu opsamlede data, samt forestående kampagner, forventer vi at kunne øge forståelsen af de fysiske- og kemiske egenskaber af partiklerne i Arctic haze.



Figur 2. Distributioner af vækstfaktorer (Growth Factor) ved 90% relativ luftfugtighed for Arctic haze-partikler med forskellig størrelse. Blå er 30 nm, lilla er 60 nm og rød er 120 nm. Bemærk de meget lave koncentrationer. Data målt 29/4/2016, 03:00-04:00.

Det vil forhåbentlig føre til en bedre forståelse af deres evne til at vokse, danne skyer og dermed af deres indvirkning på det regionale klima.

Fremtidige perspektiver

Opvarmningen af Arktis forventes at fortsætte, og endda accelerere. Ved at forstå hvilke mekanismer, der driver opvarmningen, kan vi bedre forstå dens forløb og styrke argumenterne for en øget beskyttelse af det enestående og sårbare arktiske miljø. Vi kan derfor ved brug af de gode forskningsfaciliteter på VRS gøre en forskel for fremtidens udvikling i Arktis. Selvom vi stadig er i et tidligt stadie af databehandling, kan vi allerede konkludere, at de målte atmosfæriske partikler i Arktis havde høj hygroskopicitet og var effektive skydannere. Gennem yderligere målekampagner i fremtiden og ved datatolkning vil vi udvide vores forståelse af de hygroskopiske egenskaber af Arctic haze.

E-mail:

Robert Lange: robert.lange@envs.au.dk

Kilder

1. IPCC, Fifth Assessment Report, AR5, 2013.
2. K.S. Law & A. Stohl, Arctic Air Pollution: Origins and Impacts, Science, 315, 2007, 1537-1540.
3. T.J. Garrett & C.F. Zhao, Increased Arctic cloud Longwave Emissivity associated with pollution from mid-latitudes, Nature, 440, 787-789, 2006.
4. E. Swietlicki, H.-C. Hansson, K. Hämeri, B. Svenningsson, A. Massling, G. McFiggans, P.H. McMurry, T. Petäjä, P. Tunved, M. Gysel, D. Topping, E. Weingartner, U. Baltensperger, J. Rissler, A. Wiedensohler & M. Kulamala, Hygroscopic properties of submicrometer atmospheric aerosol particles measured with HTDMA instruments in various environments – a review, Tellus, 60B, 2008, 432-469.
5. J. Zhou, E. Swietlicki & O.H. Berg, Hygroscopic properties of aerosol particles over the central Arctic ocean during summer, Journal of Geophysical Research, 106, D23, 2001, 32.111-32.123.
6. A.M.K. Hansen, K. Kristensen, Q.T. Nguyen, A. Zare, F. Cozzi, J.K. Nøjgaard, H. Skov, J. Brandt, J. H. Christensen, J. Ström, P. Tunved, R. Krejci, & M. Glasius, Organosulfates and organic acids in Arctic aerosols: speciation, annual variation and concentration level, Atmospheric Chemistry and Physics, 14, 2014, 7807-7823.
7. A. Massling, I. E. Nielsen, D. Kristensen, J.H. Christensen, L.L. Sørensen, B. Jensen, Q.T. Nguyen, J.K. Nøjgaard, M. Glasius & H. Skov, Atmospheric black carbon and sulfate concentrations in northeast Greenland, Atmospheric Chemistry and Physics, 15, 2015, 9681-9692