

Klimaeffekt af sod i luft og i sne i Arktis:

En stor international kampagne i Arktis

35 forskere fra ni forskellige forskningsinstitutioner fra fem lande var samlet på Villum Research Station ved Station Nord i Nordgrønland i en måned for at undersøge betydningen af partikler og sod i luft og sne for det arktiske klima.

Af Henrik Skov¹, Andreas Herber², Andreas Massling¹, Zhouxing Zou¹, Marten Michiel in 't Veld¹, Rupert Holzinger³, Holger Siebert⁴, Frank Stratmann⁴, Jens Vogtländer⁴, Tobias Donth⁵, Andre' Ehrlich⁵, Marco Zanatta², Atsushi Yoshida⁶, Makoto Koike⁶, Sho Ohata⁶, Oliver Eppers⁷, Ulrike Egerer⁴, Nora Fried², Christine Pohl⁸, Gerit Birnbaum², Esther Horvath², Manuel Sellmann², Jan Rohde², Kenny Madsen¹, Christel Christoffersen¹, Evelyn Jäkel⁵, Bente Raven¹, Bill Houghton⁹, John Marshall⁹, Kevin Riehl⁹, Cristina Sans-Coll², Kristina Bär² og Jørgen Skafte¹

¹ AU, Arctic Research Centre, iClimate, Afd. for Miljøkemi, Aarhus University, Danmark

² Alfred Wegener Institute, Bremerhaven, Tyskland

³ IMAU, University of Utrecht, Holland

⁴ Tropos, Leibniz Institute for Tropospheric Research, Leipzig, Tyskland

⁵ LIM, Leipzig Institute for Meteorology, University of Leipzig, Tyskland

⁶ EPS, Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, Japan

⁷ Max Plank Institute für Chemie Mainz, Tyskland

⁸ IUP, Institute for Environmental Physics, University of Bremen, Tyskland

⁹ Kenn Borek Air Lines Calgary, Canada

Formålet med målekampagnen er at undersøge sod og partiklers rolle i atmosfæren i det nordligste Arktis, i havis og sne for at se, hvordan det påvirker strålingsbalancen mellem indkommende sollys og sollys, der reflekteres tilbage ud mod rummet.

Sod er sort og derfor absorberer det sollys, når det er i luften, desuden sværter det sneen, når det afsættes fra atmosfæren til sne, ligeledes bidrager partikler og sod til, at snekrystaller i snelag på jorden vokser og dermed absorberer mere sollys og så sneen smelter hurtigere. En anden effekt er, at partiklerne danner skyer, der reflekterer sollys og absorberer udgående varmestråling.



Alfred Wegener deltog bl.a. med et DC 3 forskningsfly spækket med udstyr til måling af både fysiske og kemiske egenskaber af partikler, overfladeegenskaber såsom sne-, isstyrke, højde og roughed af landområder. Foto: Esther Horvath.

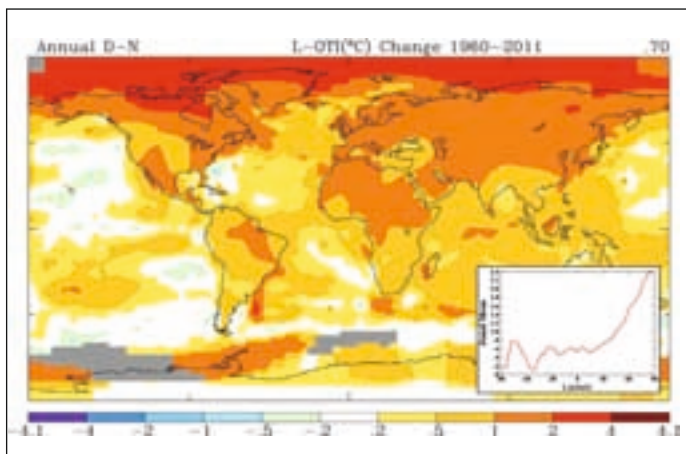


Tropos i Leipzig deltog med en tøjret ballon, hvorfra der blev målt vertikale profiler af meteorologi op til 1.000 m.
Foto: Esther Horvarth.

Partiklers og sods usikre rolle for klimaet

Den menneskeskabte globale temperaturstigning og dens konsekvenser er synlige på hele jorden [1], men ingen andre steder er den så voldsom som i Arktis [1,2].

På figur 1 ses den observerede temperaturstigning fordelt over hele jorden de sidste 50 år. Som gennemsnit for verden er temperaturen steget ca. 1 grad, men i Arktis er den steget mere end 2,4 grader. Det er det, som er døbt den arktiske forstærkning. Partikler og sod spiller en vigtig rolle, men deres rolle er ►



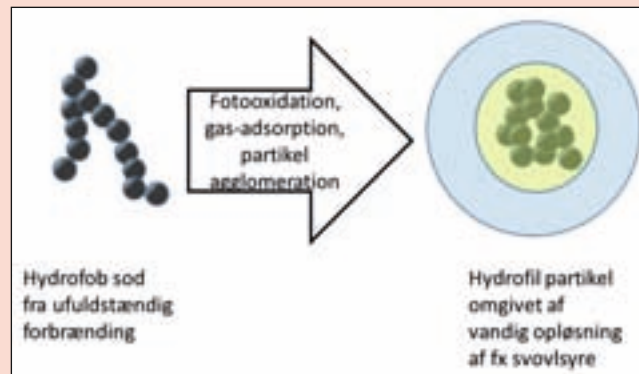
Figur 1. Temperaturforskellen i verden fra 1960 til 2011; NASA, <https://nsidc.org> downloadet 27. november 2017.

Faktaboks 1

■ Sod

Sod dannes ved ufuldstændig forbrænding af organisk materiale. Vi skelner mellem sod, der er dannet fra ”nyt” biologisk materiale, dels fra markafbrænding, naturlige brande og ved brug af træ til opvarmning på den ene side (biogent sod), og så afbrænding af fossilt brændstof i bl.a. trafiksektoren og til energiproduktion på den anden side (fossilt sod).

Sod består som udgangspunkt af lange kæder af kulstof, men det bliver oxideret på overfladen ved fotooxidation i atmosfæren, hvorved det ”klumper” sammen og går fra at have en hydrofob overflade til at have en hydrofil overflade, hvor der kan kondensere vand.



Kædeformet frisk udsendt sod i atmosfæren, der ved fotooxidation klumper sig sammen og kan omgives af hydrofile opløsninger.



Landbaserede albedo-målinger af bredbåndet stråling blev lavet ved brug af et pyrometer og pyrgeometer. Apparaterne er fastmonteret på stort stativ monteret på en slæde. To systemer blev anvendt; et der stod på samme sted og et der blev flyttet rundt. Der blev ligeledes målt sne-densitet og det specifikke sne-areal.



Alfred Wegener deltog bl.a. med et DC 3 forskningsfly spækket med udstyr til måling af både fysiske og kemiske egenskaber af partikler, overfladeegenskaber såsom sne-, isfyldelse, højde og roughed af landområder. Foto: Esther Horvarth.

også forbundet med stor usikkerhed [1]. Vi har godt nok fået meget mere viden [3-5], men der er som sagt mange uklarheder om, hvor stor betydning partikler og sod har.

Lang transport af partikler og sod

Partikler og sod, der udsendes direkte ved forbrænding, er generelt små <100 nm (ultrafine partikler). Sod består af hydrofob (vandskyende kulstofkæder, se faktaboks 1, side 17). Disse små partikler oxideres og koagulerer med andre partikler, og allerede inden for få timer vokser de og ændrer sig fra at være hydrofobe til at være hydrofile, hvorved de kan absorbere vand. De kan herved vokse, til de er større end $0,2 \mu\text{m}$ i diameter. Partikler, der er mellem $0,2$ og $0,8 \mu\text{m}$ (akkumulerings-størrelsesfraktion), kan transporteres over flere tusind kilometer, f.eks. fra vores breddegrader til Arktis.

Ultrafine partikler opfører sig næsten som gasser og afsættes til jordoverfladen tæt ved kilden enten ved tørdeposition eller vaskes ud med nedbør. Partikler større end $0,8 \mu\text{m}$ fjernes i stigende grad ved gravitation. Partikler mellem $0,2$ og $0,8 \mu\text{m}$ størrelsesfraktion absorberer eller spreder sollys mest effektivt og påvirker dermed jordens strålingsbalance og klima. Desuden kan disse partikler danne skydråber, og de har derfor også en effekt på skylaget, der er meget vigtig for jordens klima.

PAMARCMiP-kampagnen

(Polar Airborne Measurements and Arctic Regional Climate Model Simulation Project) på Villum Research Station ved Station Nord i Nordgrønland 2018.

For at få afgørende ny forståelse af partikler og sods betydning i atmosfæren var 35 forskere og teknikere taget til Villum Research Station i Nordgrønland, se figur 2. Kampagnen blev styret af Andreas Herber fra Alfred Wegener Institut og Henrik

Skov og Andreas Massling fra Aarhus Universitet. Der var deltagere fra forskningsinstitutioner i Tyskland, Japan, Holland, Canada og Danmark og de kom fra i alt ni forskellige forskningsinstitutioner.



Figur 2. Til venstre: Grønland. Det blå område viser Grønlands Nationalpark. Den gule prik viser lokaliteten af Villum Research Station. Til højre: Kort over Station Nord, hvor Villum Research Station er placeret, de røde huse. Nyt målehus ligger to km uden for Station Nord.

Der var mange forskellige forskningsaktiviteter og i det kommende år vil målingerne blive tolket, prøver analyseret og resultater sammenstilles. I tabel 1 kan man se, hvilke instrumenter, der blev benyttet, hvilke parametre der måles, samt hvilken måleplatform, der er anvendt.

Således deltog Alfred Wegener bl.a. med et DC 3 forskningsfly spækket med udstyr til måling af både fysiske og kemiske

Platform	Instrument	Operatør	Parameter
DC3 fly	Smart albedometer	LIM	Spektral albedo, sod koncentration, korn størrelse af sneoverflade
	Eagle/hawk	LIM	Opad rettet spektral fordeling, sod koncentration, korn størrelse af sneoverflade
	Canon kamera (180°)	AWI/LIM	Opgående stråling, tovejs refleksion i sne og overfladeruhed
	SP2	EPS	Sod partikel absorption og koncentration
	UHSAS	EPS	Partikel størrelsesfordeling
	IAGOS	FZJ	Partikel størrelsesfordeling
	PTR-TOF-MS	IMAU	Oxiderede organiske forbindelser
	Monitører	Mainz Univ.	CO/CO ₂ /O ₃ /H ₂ O konc.
	EM-Bird	AWI	Havis tykkelse
	Laser altimeter og skanner	AWI	Højde og ruhed af overfladen
	CAPS	EPS	Partikelstørrelsesfordeling, form og fase
	Luftbåren mobile aerosol laser	AWI	Tilbage spredning og polarisering
	Sol fotometer	AWI	Aerosol optisk dybde
	Nevzorov probe	AWI	Væske, is og vand indhold
	Bredbånds stråling	AWI	Bredbånds solar og terrestrisk stråling
Landaseret Mobile aktiviteter	KT 19	AWI	Infrarød og nær infrarød stråling, overflade is og sne temperatur
	AVAPS Lite Sonde	AWI	Meteorologiske parametre, tryk, temp og rel. fugtighed
	CORAS	LIM	Spektral albedo, sod, koncentration af partikel størrelser i sne
	Canon camera (180°)	AWI/LIM	Udgående stråling, og tovejs refleksion overflade ruhed
	Sneprøver	AWI	Snekornsstørrelse, Sod koncentration i sne
Villum Research Station, Station Nord aktiviteter	Sne prøver	AU	Sod og organisk kulstof i sne
	Sneprofiler	AWI	Snestratifikation, sod profil
	Aetholometer	AU	Sod absorption og koncentration
	Ceilometer	DTU-Risø	Skyhøjde, vertikal fordeling af partikler
	Differential masse analysator	AU	Partikelstørrelsesfordelings koncentrationer målinger
	Nephelometer	AU	Aerosol spredningskoefficient
	Skannende Mobilitets Partikel størrelses Spektrometer	AU	Aerosol partikel størrelsesfordeling
	Filterpack opsamlere	AU	Uorg. Elementer og forbindelser
	Ozon monitor	AU	Ozon koncentrationer
	CO monitor	AU	CO koncentrationer
	TEKRAN Hg monitor	AU	Hg ⁰ koncentrationer
	Meteorologiske instrumenter	ASIAQ	Temperatur, tryk, vindhastighed, turbulent luftstrømme og retning, luftfugtighed, solindstråling, nedbør
	PTR-TOF-ms 1000	AU	
Tøjret ballon	Basis meteorologi	TROPOS	Temperatur og fugtighed
	Sonic anemometer	TROPOS	Vind vektor, turbulent luftstrømme
	Bredbånds stråling	LIM	Bredbånds solar og terrestrisk stråling
	STAP	AU	Vertikal fordeling af sod

Tabel 1. Delprojekter i PAMARCMIP.

egenskaber af partikler, overfladeegenskaber såsom sne-, istykkelse, højde og ruhed af landområder.

Tropos i Leipzig deltog med en tøjret ballon, hvorfra der blev målt vertikale profiler af meteorologi op til 1.000 m. Vi havde et lille apparat med, der kan måle sodkoncentrationen i luft.

AU deltog mest med aktiviteter på Villum Research Station. Vi baserede vores deltagelse på vores monitoringsaktiviteter (se www.Villumresearchstation.dk) finansieret via Dancea-midler. Herudover havde vi instrumenter, der matchede instrumenterne fra de andre grupper. Således blev der målt CO på flyet og på



landjorden. Vi målte oxiderede flygtige organiske forbindelser med en Proton Transfer Reaction time of Flight Mass Spectrometer (PTR-tof-MS, Ionicon) med tidlig opløsning på fem sekunder.

Målekampagnen var en stor succes og vi fik lavet rigtig mange vigtige målinger og resultater. I de kommende måneder arbejder vi intenst med at analysere prøver, kvalitetstjekke målinger og tolke de opnåede resultater. I de næste numre af Dansk Kemi vil vi beskrive nogle af de resultater, der kommer ud af kampagnen.

Taksigelse

Energistyrelsen og Miljøstyrelsen takkes for finansiel støtte til Aarhus Universitet via Dancea-midlerne. Villum Fonden takkes for den store bevilling, der har gjort det muligt at bygge Villum Research Station.

E-mail:

Henrik Skov: hsk@envs.au.dk

Referencer

1. IPCC IPCC Fifth assessment report; 2013, 2013.
2. Stendel, M.; Christensen, J.H.; Petersen, D., Arctic climate and climate change with a focus on Greenland. In Advances in Ecological Research, Vol 40: High-Arctic Ecosystem Dynamics in a Changing Climate, Meltofte, H.; Christensen, T.R.; Elberling, B.; Forchhammer, M.C.; Rasch, M., Eds. Elsevier Academic Press Inc: San Diego, 2008; Vol. 40, pp 13-43.
3. Massling, A.; Nielsen, I.E.; Kristensen, D.; Christensen, J.H.; Sorensen, L.L.; Jensen, B.; Nguyen, Q.T.; Nojgaard, J.K.; Glasius, M.; Skov, H., Atmospheric black carbon and sulfate concentrations in Northeast Greenland. Atmos. Chem. Phys. 2015, 15 (16), 9681-9692.
4. Nguyen, Q.T.; Skov, H.; Sorensen, L.L.; Jensen, B.J.; Grube, A.G.; Massling, A.; Glasius, M.; Nojgaard, J.K., Source apportionment of particles at Station Nord, North East Greenland during 2008-2010 using COPREM and PMF analysis. Atmos. Chem. Phys. 2013, 13 (1), 35-49.
5. Quinn, P.K.; Stohl, A.; Arneth, A.; Bernsten, T.; Burchart, J.F.; Christensen, J.; Flanner, M.; Kupiainen, K.; Lihavainen, H.; Shepherd, M.; Shevchenko, V.; Skov, H.; Vestreng, V. AMAP, 2011. The Impact of Black Carbon on Arctic Climate; 2011, 2011; p 128 pp.

