

# Plastik i luften – havets usynlige bidrag



Foto: Feepik.com

Springende bobler på havets overflade kan transportere mikroskopiske plastikpartikler fra vand til luft.

Af Eva R. Kjærgaard, Institut for Kemi, Aarhus Universitet

Når du står på stranden og mærker vinden fra havet, kan du mærke saltet fra vandet, som bliver frigivet, når bølger brydes, men det er ikke det eneste i luften. I havbrisen svæver der formentligt også mikroskopiske plastikpartikler.

De fleste forbinder plastikforurening med flasker og poser, der flyder i vandkanten. Men plastik kan blive findelt til mikroskopiske stykker og transporteret gennem vand, jord og nu også luft. Forskere har i de senere år vist, at havet kan sende plastik op i atmosfæren, når bølger bryder og bobler springer på havets overflade [1,2].

Hvordan ender plastik i luften, og hvad betyder det for klimaet og for os? Det var nogle af spørgsmålene, vi prøvede at svare på som del af mit ph.d.-projekt – blandt andet ved hjælp af en bobletank på Aarhus Universitet. Projektet foregik i samarbejde med ph.d.-studerende Freja Hasager og post-doc Sarah Suda Petters og var en del af et forskningsprojekt finansieret af Det Frie Forskningsråd (Green Transition) ledet af professor Merete Bilde og lektor Marianne Glasius.

## Plastik i miljøet – fra makro til nano

Siden plastik for alvor blev et populært materiale i 1950'erne, er produktionen steget eksplosivt [3]. Materialet har mange fordele: det er let, stærkt og kan formes til næsten alt. Netop de egenskaber, der gør plastik så nyttigt i hverdagen, gør det også til en miljømæssig udfordring. For når plastik først havner i naturen, bliver det der.

I havet, på land og i luften nedbrydes plastik langsomt. Større stykker bliver gradvist slidt i stykker til mindre fragmenter, som kaldes mikroplastik (mellem 5 millimeter og 1 mikrometer i diameter) og nanoplastik (mindre end 1 mikrometer i diameter). Disse partikler er så små, at de kan svæve i luften, indåndes og bevæge sig over store afstande.

Plastik er derfor ikke længere kun et affaldsproblem – det er blevet en del af Jordens kredsløb.

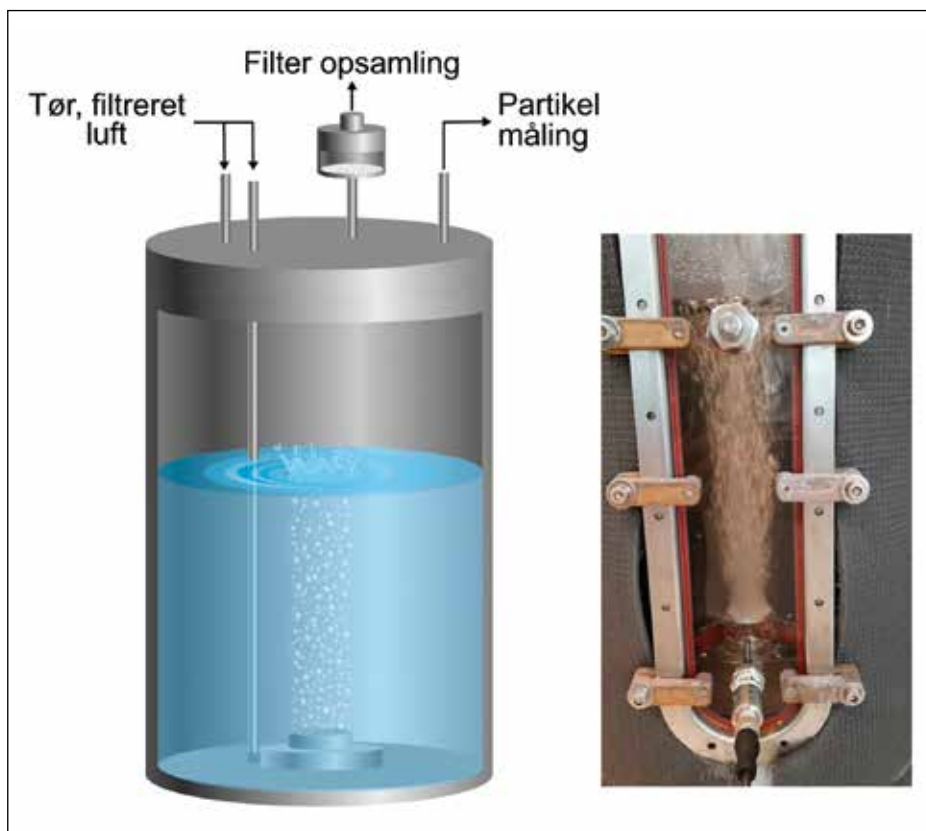
## Plastik i luften

### - hvordan kommer det derop?

Plastikpartikler kan blive luftbårne på flere måder [1]. Når biler bremses og dæk slides mod asfalten, frigives små plaststykker, der hvirvles op med støvet. På tørre lossepladser kan vinden løfte lette plastikpartikler og føre dem væk. En mere overraskende kilde er havet. Når bølger brydes, og bobler springer på havoverfladen, slynges dråber og partikler op i luften, disse kaldes for havsprøjtsaerosoler (se faktaboks) [2]. Hvis havvandet indeholder nanoplastik, kan disse bobler sende små plastikpartikler med op i atmosfæren.

### Havsprøjtsaerosoler i laboratoriet

Dannelsen af havsprøjtsaerosoler kan undersøges i laboratoriet ved hjælp af bobletanken, AEGOR, på Aarhus Universitet [4]. AEGOR er en 34 liter rustfri stål cylindrisk tank. I et eksperiment fyldes tanken med 20 liter vand og plastikpartikler lavet af polystyren (PSL). I AEGOR-tanken kan man danne bobler ved at skubbe luft igennem et filter i bunden af tanken. Boblerne stiger op igennem vandet og



Figur 1. Skema og foto, der viser AEGOR bobletanken med boblegenerator installeret i bunden.



### Havsprøjtsaerosoler

Partikler kan frigives fra havet på flere måder. Når bølger brydes, dannes havsprøjt, som består af små dråber og partikler, som sendes op i luften. Havsprøjt opstår, når bølger brydes og luft sendes ned under vandoverfladen. Bobler stiger op gennem vandet, hvor de kan opsamle organiske forbindelser. Når boblerne springer ved havets overflade, frigives dråber til atmosfæren. Når de første, kaldet filmdråber, er slynget ud, dannes der et midlertidigt "hul" i havoverfladen. Når dette hul fyldes igen, slynges yderligere dråber op i luften, kaldet jetdråber.

springer ved overfladen. I luften over vandet opsamles de luftbårne partikler. Partiklernes antal og størrelse måles med en *Scanning Mobility Particle Sizer* (SMPS).

Vi opsamler også partikler på et filter, som ekstraheres og analyseres med pyrolyse gaskromatografi koblet til massespektrometri (py-GC-MS) for at undersøge, om partiklerne indeholder plastik [5]. Vi er også interesseret i partiklernes hygroskopicitet, altså deres evne til at tiltrække og holde på vand. Dette måles med en *Humidified Tandem Differential Mobility Analyzer* (HT-DMA).

### Plastiktransport fra rent vand

Resultaterne fra laboratorieforsøgene viser tydeligt, at plastik kan frigives fra vand til luft. Når bobler dannes og springer på vandoverfladen, følger små partikler af polystyren; den type plastik, vi kender fra flamingo, med op i luften.

Figur 2, på side 26, viser en partikelstørrelsesfordeling for forsøg med rent vand (blå) og med tilføjet polystyren (lilla) med en diameter på 103 nm. Der er meget få partikler dannet fra det rene vand, mens der, når plastikken er tilføjet, kommer en top centreret ved cirka 103 nm, størrelsen på plastik-

partiklerne [6]. Det samme viste sig for 147 og 269 nm polystyrenpartikler. Ved hjælp af py-GC-MS analyse af partikler opsamlet på filtre kunne vi verificere, at partiklerne i luften bestod af polystyren.

Forsøgene afslører også, at koncentrationen af plastikpartikler i luften afhænger af, hvor meget plastik der er i vandet. På figur 2 ses dette ved, at toppen øges i areal og højde ved øget plastikkoncentration i vandet. Når koncentrationen i vandet øges, frigives der flere partikler til luften. Samtidig har hastigheden, hvormed boblerne i vandet dannes, stor betydning: jo hurtigere boblerne dannes og springer, desto flere partikler slynges op i atmosfæren. Det tyder på, at både forureningsniveauet i havet og havets dynamik, for eksempel hvor voldsomt bølgerne bryder, spiller en rolle for, hvor meget plastik der frigives til luften.

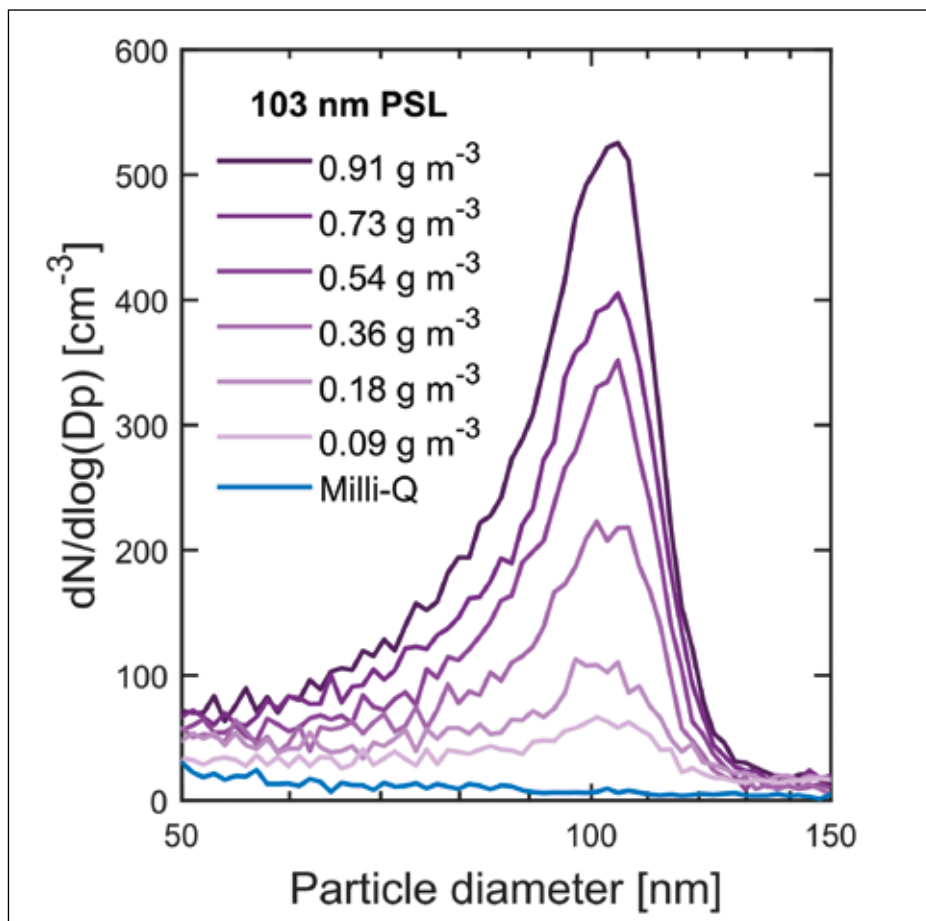
## Fra havet til skyerne

I forsøg med AEGOR-tanken, hvor vandet indeholdt både salt og polystyren plastikpartikler, kunne vi observere, at både plastik og salt blev transporteret op i luften [7]. Salt er meget hygroskopisk, altså godt til at optage vand, og dette kunne vi måle med HT-DMA instrumentet. Her udsættes tørrede partikler for høj luftfugtighed og forskellen i partiklens diameter før og efter fugten, viser partiklens *growth factor* (GF), altså i hvor høj grad partiklen optager vand.

Som forventet voksede saltpartiklerne meget, men interessant nok optog plastikpartiklerne også en smule vand, selvom plastik almindeligt regnes for at være hydrofobt. Dette skyldes sandsynligvis, at plastikpartiklerne er blevet luftbårne sammen med salt. Det kunne eksempelvis tænkes, at plastikpartiklerne var dækket af et tyndt lag salt. Saltbelægningen kan fungere som et kemisk fingeraftryk, der viser, at partiklerne stammer fra havsprøjt. Derudover kan denne saltbelægning potentielt ændre plastikpartiklernes hygroscopicitet grundet den høje vandopløselighed af salte.

Høj hygroscopicitet er en vigtig egenskab for, om en partikel kan danne skydråber – det vil derfor være interessant at kigge nærmere på egenskaberne af plastikpartikler fra havet.

Plastikforurening er ikke længere kun et problem på havbunden eller kystområder. Forskningen viser nu, at mikroskopiske plastikpartikler kan blive luftbårne, og det tyder på, at partiklerne endda kan spille en rolle i skydan-



Figur 2. Partikel-størrelsesfordeling målt med SMPS fra eksperiment, hvor AEGOR-tanken var fyldt med rent vand (blå) og polystyrenpartikler (diameter 103 nm) i seks forskellige koncentrationer (lilla). Gengivet med tilladelse fra RCS Publishing fra reference [6].

nelse. Når plastikpartikler transporteres sammen med salt fra havsprøjt, kan de optage vand fra luften og måske kan de fungere som kondensationskerner for skyer.

Den seneste forskning udvider vores forståelse af plastik som forureningskilde. Plastik i naturen kan bevæge sig fra hav til atmosfæren og måske tilbage igen med nedbør. Nye spørgsmål rejser sig om, hvorvidt de luftbårne plastikpartikler også kan påvirke klimaet på andre måder, for eksempel ved at fungere som overflader for isdannelse i kolde skyer. En sådan proces kan ændre skyernes levetid og deres nedbørsmønstre. Det vil fremtidens forskning vise.

Denne forskning er publiceret i tre nye artikler [5, 6 og 7].

Tak til alle samarbejdspartnere, min ph.d.-vejleder professor Merete Bilde, med-vejleder lektor Marianne Glasius og støtte fra Danmarks Frie Forskningsfond (bevillingsnummer 0217-00442B) og Danmarks Grundforskningsfond (DNR172) gennem Center of Chemistry of Clouds.

E-mail:  
Eva R. Kjærgaard: eva@chem.ku.dk

## Referencer

1. Brahney, J., Mahowald, N., Prank, M., Cornwell, G., Klimont, Z., Matsui, H. & Prather, K.A. (2021) Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. (PNAS)* 118 (16) e2020719118.
2. Allen, S., Allen, D., Moss, K., Le Roux, G., Phoenix, V.R., & Sonke, J.E. (2020) Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics. *PLoS ONE* 15(5): e0232746.
3. Our World Data based on Geyer et al. (2017) and the OECD Global Plastics Outlook
4. Christiansen, S., Salter, M.E., Gorokhova, E., Nguyen, Q.T., & Bilde, M. (2019). Sea spray aerosol formation: Laboratory results on the role of air entrainment, water temperature, and phytoplankton biomass. *Environmental science & technology*, 53 (22), 13107-13116.
5. Hasager, F., Björgvinsdóttir, Þ.N., Vinther, S.F., Christofilis, A., Kjærgaard, E.R., Petters, S.S., Bilde, M., & Glasius, M. (2024). Development and validation of an analytical pyrolysis method for detection of airborne polystyrene nanoparticles. *Journal of Chromatography A*, 1717, 464622.
6. Kjærgaard, E.R., Hasager, F., Petters, S.S., Glasius, M., & Bilde, M. (2024). Bubble-mediated generation of airborne nanoplastic particles. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 26(7), 1216-1226.
7. Petters, S.S., Kjærgaard, E.R., Hasager, F., Massling, A., Glasius, M., & Bilde, M. (2023). Morphology and hygroscopicity of nanoplastics in sea spray. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 25(47), 32430-32442.