

Prøveindsamling af overfladevandet fra et regnvandsbassin. Via et pumpesystem kan vi indsamle prøver på op til flere kubikmeter. Foto: Fan Liu.

MIKROPLAST I BYENS VAND

I spildevand og regnvand fra byerne findes mikroplast, der kan ende i miljøet. Men hvor meget er der af det, hvor kommer det fra, og hvordan finder og måler man plastikpartikler, man ikke kan se med det blotte øje? Det er spørgsmål, artiklens forfattere arbejder på at besvare.

Om forfatterne:



Kristina Borg Olesen er ph.d.-studerende ved Aalborg Universitet, sektion for Vand og Miljø. krbo@civil.aau.dk



Marta Simon er ph.d.-studerende ved Aalborg Universitet, sektion for Vand og Miljø. msi@civil.aau.dk



Aviaja Anna Hansen er procesingeniør ved Krüger A/S. avh@kruger.dk



Jes Vollertsen er professor ved Aalborg Universitet, sektion for Vand og Miljø. jv@civil.aau.dk



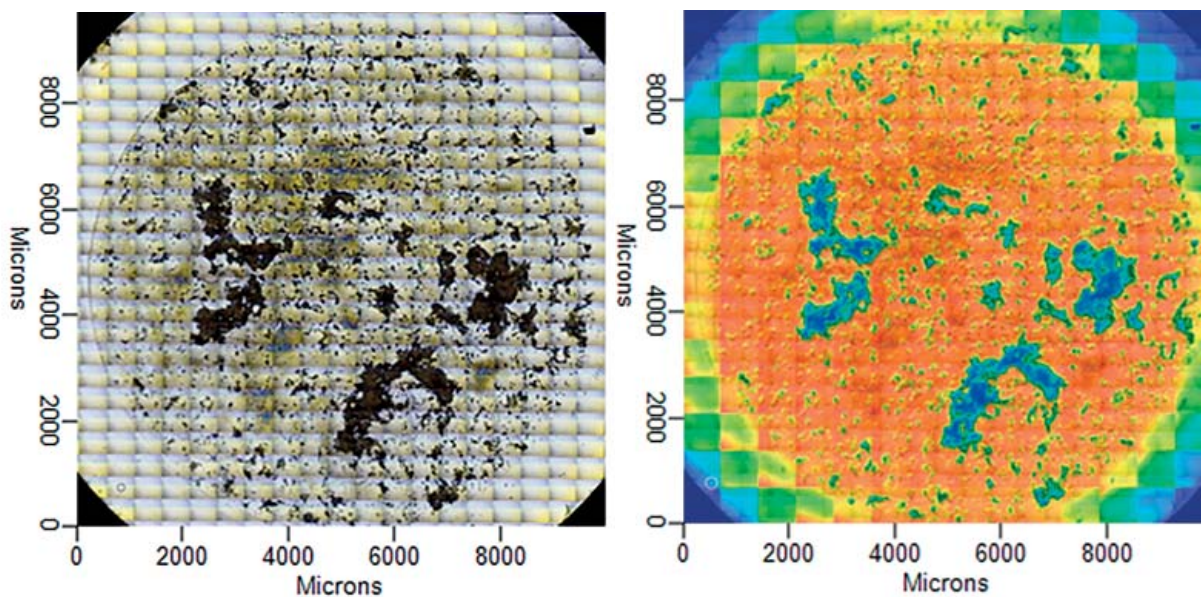
Plastik er i dag et nøglemateriale i vores moderne samfund. Plastik er billigt at producere og har en god holdbarhed, og med sine uendelige kombinationer af kemiske og fysiske egenskaber varetager det et hav af forskellige funktioner. Plastik er et nyttigt materiale, også når vi snakker større bæredygtighed og grønne teknologier. I bilproduktion anvendes der plast, hvilket bidrager til lettere biler. Når bilen bliver lettere, kan den køre længere på literen og bliver mere bæredygtig. Også

i produktionen af grøn energiteknologi som vindmøller og solceller indgår der plast.

Ifølge *PlasticsEurope* produceres der på verdensplan omkring 348 millioner ton plastik om året, hvor polypropylen (PP) og polyethylen (PE) er de plastmaterialer, der produceres mest af. Heraf går en stor del til engangsprodukter. Det bringer os frem til problemet med plastik: En ineffektiv genanvendelse og en ringe cirkulær økonomi. Konsekvensen ser vi i form af et globalt

problem med plastikforurening. En stor del af denne forurening er endda ikke umiddelbart synlig for os, idet den består af bittesmå plastpartikler.

Mikroplast er defineret som partikler af plastik med en størrelse mindre end 5 mm. Udledningen af mikroplast kan inddeles i to kategorier – primær og sekundær mikroplast. Primær mikroplast er plastmateriale designet med en lille partikelstørrelse. Denne type plast anvendes enten af industrien eller



Scanningsbillede af en spildevandsprøve optaget med et såkaldt FPA- μ FT-IR-billedbehandlingssystem. Til venstre ses det visuelle billede, som er optaget med høj opløsning, hvilket gør det muligt at zoomme ind til nogle få mikrometer. Til højre ses det tilhørende IR-kort. Hver pixel ($5,5 \times 5,5 \mu\text{m}$) på IR-kortet viser et IR-spektrum, som gør det muligt at identificere partikelmaterialet.

som tilsætningsstoffer i produkter som hygiejne- og plejeprodukter. Sekundær mikroplast er mikrometerstore fragmenter af plast, som stammer fra nedbrydning af større stykker plastik. Det udgør langt den største kilde til mikroplast i naturen. Udover nedbrydning af plast kan mikroplast også stamme fra slitage af forskellige produkter som bildæk, fiskeudstyr og sko.

Mikroplast er et problem i miljøet

Plast pynter ikke ligefrem i naturen, men derudover kan mikroplast have stor betydning for vores vandmiljø. I vandmiljøet er mikroplast biotilgængeligt for de organismer, som lever i vandet. Størrelsen af partiklerne betyder, at organismene i vandet kan forveksle de små partikler med mad. Derved kan mikroplast akkumulere i organismen og ophobes i fødekæden. Yderligere kan mikroplastpartikler frigive uønskede stoffer, som enten er tilsat ved produktionen (eksempelvis blodgørere) eller miljøgifte, som er adsorberet fra omgivelserne. Hvor stort problemet med mikroplast er kan være svært at sige, da vores viden om de potentielle negative konsekvenser ved eksponering for mikroplast endnu er begrænset.

En forudsætning for at kunne snakke om problemerne med mikroplast på et oplyst grundlag er, at vi faktisk er i stand til at måle mængden af mikroplast i en given prøve. Og her er målemetoderne stadig i deres vorden, og det diskuteres derfor stadig i fagkredse, hvilke metoder der skal anvendes, og hvor retvisende et billede de forskellige metoder giver. Ved sektion for Vand og Miljø på Aalborg Universitet bidrager vi til at udvikle metoderne, så vi kan opnå et solidt grundlag for at vurdere forureningens omfang og betydningen af de forskellige kilder til mikroplast. Vi har særlig fokus på, hvordan man kan ekstrahere mikroplast fra komplekse prøver som sediment, regnvand og spildevand for at afklare, hvilke kilder fra byerne, der udgør den største belastning til mikroplastforurening i vandmiljøet.

Mikroplast udledes til vandmiljøet via forskellige transportveje. Den overordnede danske udledning af mikroplast til vandmiljøet er estimeret til 600-3100 ton om året. Dette tal medtager altså ikke nedbrydningen af store stykker plast til mikroplast – plast, som er smidt i naturen og som her bliver nedbrudt til mindre stykker. Hvor stor den kilde er, ved vi endnu ikke.

I byerne er spildevand og regnvand, der strømmer af byens overflade, kilder til mikroplast i vandmiljøet. For eksempel frigiver tekstiler fibre, når tøjet vaskes, og regnvandet indeholder mikroplast fra slitage af bygningsmaterialer og bildæk.

Kunsten at ekstrahere mikroplast

En sediment-, regnvands- eller spildevandsprøve indeholder heldigvis meget andet end mikroplast såsom biologisk materiale, sand og sten. Før man kan måle på mikroplasten, skal den først isoleres fra alt det andet materiale. Forskellige kemiske og biologiske processer kan bruges til at ekstrahere mikroplast, dog skal man vælge processerne med omhu, så plastikpartiklerne ikke tager skade. Organisk materiale kan fjernes ved at oxidere det eller behandle det med enzymer. Enzymer kan være effektive til at fjerne for eksempel toiletpapir og plantemateriale. Hovedparten af det uorganiske materiale kan fjernes ved at anvende en væske med en kendt massefylde, hvor partiklerne enten vil flyde eller synke til bunds. På den måde kan plastikpartiklerne og andet organisk materiale isoleres i overfladen fra den uorganiske del, som vil synke til bunds. Alt efter prøvematerialet og størrelsen på partik-

Analyse af mikroplastpartikler

Når man skal analysere mikroplastpartikler er de små partikler (mindre end 500 μm) mest krævende. Først og fremmest fordi en god ekstraktionsmetode kan være meget tidskrævende. Efter mikroplastpartiklerne er ekstraheret over i en opløsning, deponeres en delprøve på et materiale, som ikke giver et infrarød-signal i analyseområdet (for eksempel linse eller filter). Når væsken er fordampet, kan prøven scannes. Selve analysen (kaldet $\mu\text{FT-IR}$ -analyse, som står for Fourier-Transformeret Infrarød spektroskopi) kan gennemføres i to forskellige udgaver, enten transmittans, hvor lys bringes igennem prøven eller reflektans, hvor lys reflekteres fra prøven.

Den store mængde data fra analysen kan med fordel analyseres ved hjælp af software som MPhunter, der er udviklet på Aalborg Universitet i samarbejde med Alfred Wegener Institutet i Tyskland. Denne software sammenligner alle IR-spektre med IR-spektre fra en database. Partiklerne defineres ud fra en statistisk korrelation, hvorefter partiklens dimensioner, volumen og masse findes.



$\mu\text{FT-IR}$ udstyret med et 15 \times objektivet, der er klar til scanning Foto: AAU, Sektion for vand og miljø.

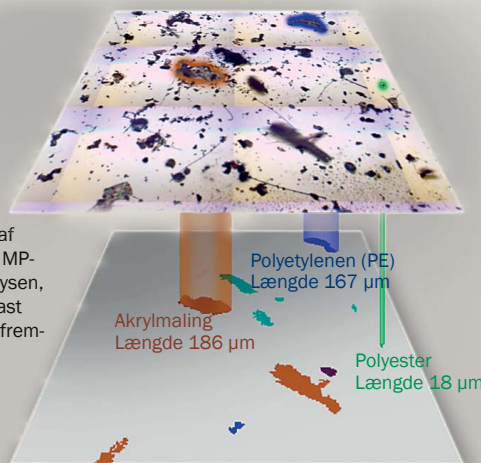


Illustration af princippet i MPhunter analysen, hvor kun plastpartiklerne fremhæves.

Analyse af større partikler

Til større partikler (større end 500 μm) anvender vi en metode kaldet ATR-FT-IR (ATR står for Attenuated Total Reflectance). Det er en reflektansteknik, som kræver en god kontakt med materialeoverfladen. Partiklerne analyseres en efter en ved at placere partiklen i en holder, som trykker partiklen ned mod lyskilden. ATR-metoden giver derfor en del manuelt arbejde. Ved hjælp af et mikroskop

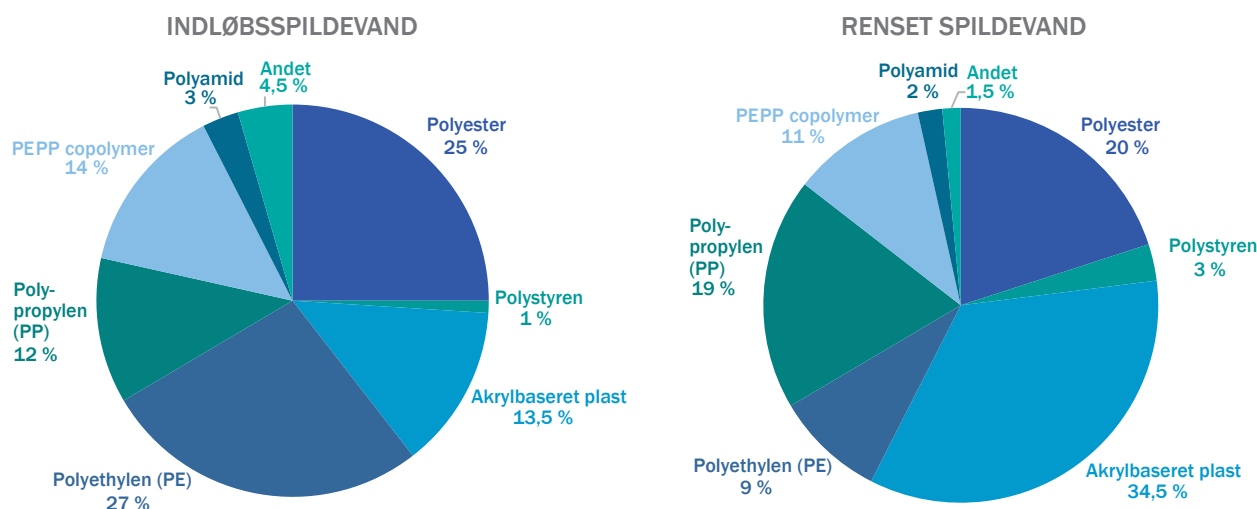
kan de store mikroplastpartikler fiskes ud blandt andet materiale efter en simpel procedure. Nederst til venstre ses en densitetseparation: alt materiale som flyder opsamlles og oxideres. Herefter tørres restmaterialet som efterfølgende sorteres under et mikroskop. Mikroplastkandidaterne analyseres herefter med ATR-FT-IR, hvor partikelmaterialet bestemmes.



Bægerglas med en densitetsseparation. Foto: Kristina Borg Olesen



Sorteringsprocessen af mulige mikroplastkandidater. Petriskålen med mindst materiale indeholder mulige mikroplastkandidater og den anden det frasorterede, organiske materiale (i dette tilfælde græsstrå). Foto: Kristina Borg Olesen



Materialesammensætning af plastpartikler fundet i gennemsnitsspildevandsprøve fra ti danske renseanlæg. Procentdelen er baseret på massekoncentrationen.

lerne i prøven, kan man anvende en eller flere processer for at opnå den bedste ekstraktion af mikroplast.

Analysen af mikroplast

Når vi har ekstraheret mikroplast fra vores prøver er næste udfordring at bestemme præcis, hvilke typer plastik der er i prøverne, og hvor meget der er af det. Det er en kompliceret proces, der kræver avancerede analysemetoder og specialiseret viden. Sådanne metoder kan bygge på infrarødspektroskopi, som er en teknik, hvor en infrarød lyskilde vekselvirker med et materiale. De kemiske bindinger, som er tilstede i materialet, giver et unikt infrarødspektrum (IR-spektrum), som kan bruges til at identificere materialet. Infrarødspektroskopi kan gøres langt mere avanceret ved at koble det til andre detektorer og billedbehandlingsinstrumenter (for eksempel et mikroskop). I vores forskning bruger vi en analysemetode, hvor et visuelt billede kobles med IR-spektroskopi, hvilket giver mulighed for at identificere det materiale, partiklerne i prøven består af. Analysen er hurtig og kan finde partikler ned til få mikrometer. Resultatet af analysen er et "kort" bestående af mere end 3 millioner IR-spektre, hvilket er en ganske stor mængde data. Fordelen ved en metode som denne er, at man opnår information om antallet af partikler, partikeldimensioner samt kemisk

identifikation. Ud fra størrelsen på de enkelte partikler samt den kemiske identifikation kan man estimere en massekoncentration.

Det er ikke alle materialer, som metoden egner sig til – for eksempel kan gummi fra bildæk ikke måles. Gummi fra bildæk indeholder nemlig sorte kulstofpartikler (carbon-black), som absorberer alt lys, så der ikke kommer et signal til detektoren og dermed intet IR-spektrum. For at måle på gummi fra bildæk, kan man i stedet bruge en analysemetode, hvor prøven varmes op, så plastiken undergår en delvis forbrænding, hvorefter man analyserer på forbrændingsproduktet. Der findes også andre analysemetoder, som kan anvendes til mikroplastanalyse, heriblandt Raman og NIR (Near InfraRød), som begge er spektroskopiske analysemetoder.

Mikroplastudledning fra renseanlæg

Der findes kun få undersøgelser omkring mikroplastens skæbne fra byernes spildevandssystemer. Generelt viser studierne, at renseanlæggene tilbageholder langt det meste mikroplast, og kun en lille del udledes via det rensede spildevand. I et stort dansk studie foretaget på Aalborg Universitet (AAU) i samarbejde med virksomheden Krüger blev ti af de største danske renseanlæg, som tilsammen va-

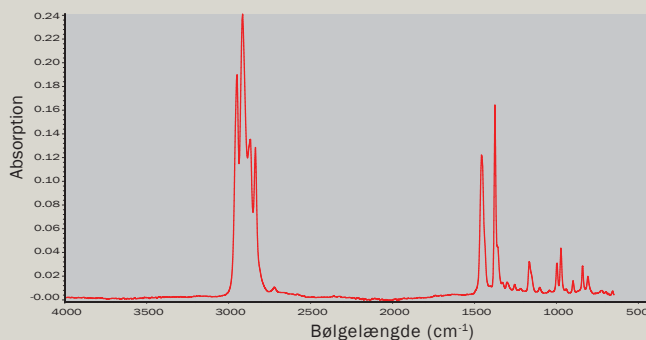
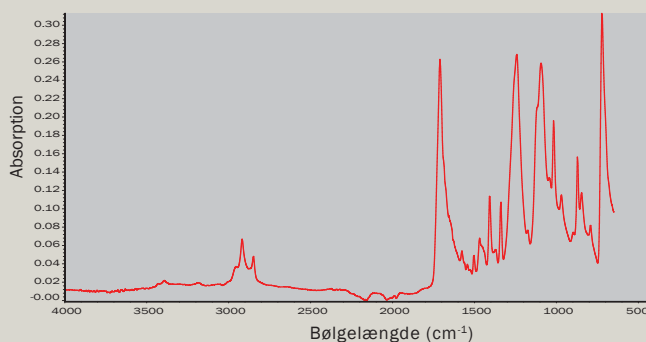
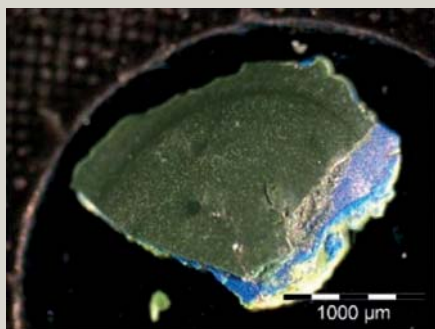
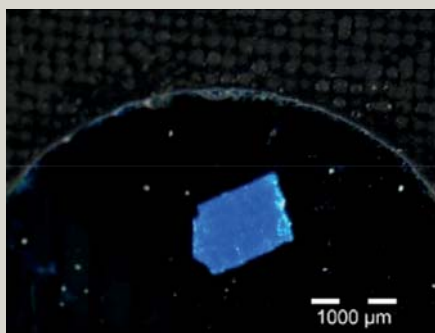
retager cirka 26 % af det samlede spildevand i Danmark, undersøgt for deres mikroplastudledning. Studiet havde fokus på plastpartikler i størrelsen 10-500 µm og viste, at der i gennemsnit i indløbsspildevandet kunne måles en mikroplastkoncentration på 0,250 mg/L svarende til 7216 plastpartikler/L, og i det rensede spildevand kunne måles 0,004 mg/L svarende til 54 plastpartikler/L. Dette kan omregnes til, at 99,3 % af plastmassen bliver tilbageholdt på renseanlægget, mens det tilsvarende tal for antal partikler er 98,3 %. Samme tendens og udledningskoncentrationer er fundet i andre studier lavet i Sverige og Tyskland.

Hvis denne tilbageholdelsesgrad gælder for alle danske renseanlæg, vil der årligt udledes 1 % af den samlede mikroplastmasse, som findes i indløbsspildevandet. Denne ene procent er ikke en uvæsentlig kilde, da det vil betyde, at der samlet set, årligt udledes cirka 3 ton mikroplast fra renseanlæggene. Sammenlignes udledning med den estimerede totale danske mikroplastudledning til vandmiljøet, udgør det rensede spildevand dog kun en beskeden kilde. En vigtig forskel på plastpartiklerne i indløbsspildevandet og det rensede spildevand er partikelstørrelsen. Plastpartiklerne i det rensede spildevand er generelt mindre end dem, der kommer ind

Mikroplastpartikler kan have mange forskellige farver og former. Her ses to eksempel sammen med deres ATR-FT-IR-spektrum. Det blå stykke plast er af materialet polyethylen-terephthalat (PET), der blandt andet anvendes i emballageindustrien.

Nederst: Forskellige plastmaterialer kan kombineres for at opnå en ønsket materialefunktion. Det blå materiale er PET. Det mørke gråsorte plast er polypropylen (PP).

Fotos: Alvise Vianello



Yderligere læsning:

Simon, M et al (2018). Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research*, 142, 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.019>

Liu, F. et al (2019). Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds. *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.416>

Olesen, KB et al (2017). 'Analysis of Microplastics using FTIR Imaging: Application Note' Agilent Application Note Environment. https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-8271EN_microplastics_ftir_application.pdf

på anlægget. Renseanlæggene er lidt bedre til at tilbageholde de store partikler, hvilket betyder, at antallet af plastpartikler ikke bliver reduceret i helt samme grad som massen.

Hvis 1 % af mikroplastmassen udledes med spildevandet, hvor bliver de resterende 99 % så af? Der er lavet enkelte målinger på slammassen fra renseanlæg (blandt andet af AAU), som viser at størstedelen af mikroplasten ender i slammet. I Danmark benyttes det meste slam fra renseanlægget som mineralgødning på markerne, hvor resten bliver afbrændt på forbrændingsanlæg. Dermed bliver mikroplasten potentielt spredt på markerne, hvor den kan optages, fragmenteres eller udvaskes med regnvandet. En svensk undersøgelse, hvor AAU har gennemført mikroplastanalyserne, viser dog, at en normal slamudbringning formentlig ikke øger mængden af mikroplast i jord væsentligt i forhold til baggrundsværdien. Mikroplastindholdet i slammen ser derfor ikke umiddelbart ud til at spænde ben for, at de andre værdifulde stoffer i slam – fosfor, organisk stof og kvælstof – kan bringes til anvendelse på landbrugsjord.

Mikroplast i regnvandsbassiner

Når det regner, vaskes byens og vejens overflade rene – også for plastik. Det kan dog være kompliceret at indsamle en regnvandsprøve, og der findes derfor kun meget få målinger heraf. I Danmark findes der regnvandsbassiner, som har til formål at opsamle regnvand og delvis rense vandet, før det udledes til vandområder. Regnvandsbassiner er derfor et oplagt miljø til at indsamle viden omkring forekomsten af mikroplastforurening i afstrømt regnvand.

Både overfladevandet og sedimentet i flere danske regnvandsbassiner har vist sig at indeholde mikroplast. I overfladevandet er mikroplastkoncentrationerne i samme størrelsesorden som i rensat spildevand. Sedimentkoncentrationen er noget højere, cirka 100 gange så stor, men det er også forventet, da bassinernes hovedrensprincip er bundfældning af partikulært stof. Oplandet har vist sig at have stor betydning for, hvilke plastmaterialer der kan findes i bassinet. Det er derfor muligt at se forskel på, om regnvandsbassinet er placeret i et industriområde, et beboelsesområde eller om det hovedsageligt modtager

afstrømmende vand fra vejnettet. Overordnet set ser det i dag ud som om, at mikroplastkoncentrationen i udledningen fra regnvandsbassiner og renseanlæggene er nogenlunde sammenlignelige.

På vej mod konsensus

Vores forskning viser altså, at rensningsanlæg er meget effektive til at rense mikroplast fra, og det ser også ud til, at de bassiner, vi ofte bruger til at rense afstrømt regnvand, kan fjerne en væsentlig del. Men for at kunne udtale os, som vi gør ovenfor, skal vi være sikre på vores målemetoder, hvilket har været og stadig er en stor udfordring. Plastik er svært at måle, fordi det er mange ting – lige fra tøj til bildæk til mælkekartoner – og kommer i mange størrelser, lige fra store stykker affald til partikler i nanostørrelse. Lige så langsomt bevæger det videnskabelige samfund sig i retning af en konsensus for, hvordan mikroplast skal måles, så vi kan være sikre i vores udtalelser om, hvor meget der er og hvor, og ultimativt hvilke effekter det har på miljøet og mennesker. Det er en forudsætning for, at vi kan træffe kloge beslutninger om, hvor der skal sættes ind med virkemidler for at nedbringe mikroplastforureningen af vores miljø. ■