

Mikroplast i miljøet

– kilder, spredning og skæbne

Plastforurening har gennem de seneste årtier fået stigende opmærksomhed; både politisk, forskningsmæssigt og blandt befolkningen. Det drejer sig dels om forurening med større stykker plastaffald, og dels om de mindre synlige plastpartikler, som betegnes mikroplast. Men hvad er de primære kilder og veje til mikroplast i jord- og vandmiljøet? Og hvad sker der med plastpartiklerne, når først de er derude?

NANNA B. HARTMANN &
ANN FLEMMING NIELSEN

Hvad er mikroplast?

Betegnelsen mikroplast dækker over små plaststykker, som er op til nogle få mikrometer i diameter. Begrebet mikroplast blev brugt første gang i en videnskabelig artikel i 2004 /1/, og har siden fået stigende forsknings- og mediemæssig bevågenhed. Historisk set har der været størst fokus på plastforurening - herunder mikroplast - i havet. Der er dog ikke længere tvivl om, at mikroplast findes i alle dele af miljøet. I artiklen her vil vi fokusere på jord- og vandmiljøer, primært ferskvand.

Udover mikroplast findes der også en betegnelse for endnu mindre plaststykker, nemlig nanoplast. Her taler vi om plaststykker så små ($<1 \mu\text{m}$), at det kræver høj forstørrelse og mere avancerede analysemetoder for at kunne detektere og undersøge disse. Ud over størrelsen på partiklerne ('mikro' eller 'nano'), så angiver betegnelsen også, at de er lavet af 'plast'. Ethvert plast materiale har som hovedingrediens syntetiske (eller semi-syntetiske) polymerer. Kendte eksempler er polyetylen (PE), polystyren (PS), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), og polyamid (nylon). Dertil kommer tilsætningsstoffer som blødgørere, fyldstoffer og farvestoffer, som er med til at bestemme plastens egenskaber. Dette gør mikroplast til en utrolig heterogen gruppe af materialer, idet partiklerne varierer

Box 1. Mikroplast fra slid på bildæk

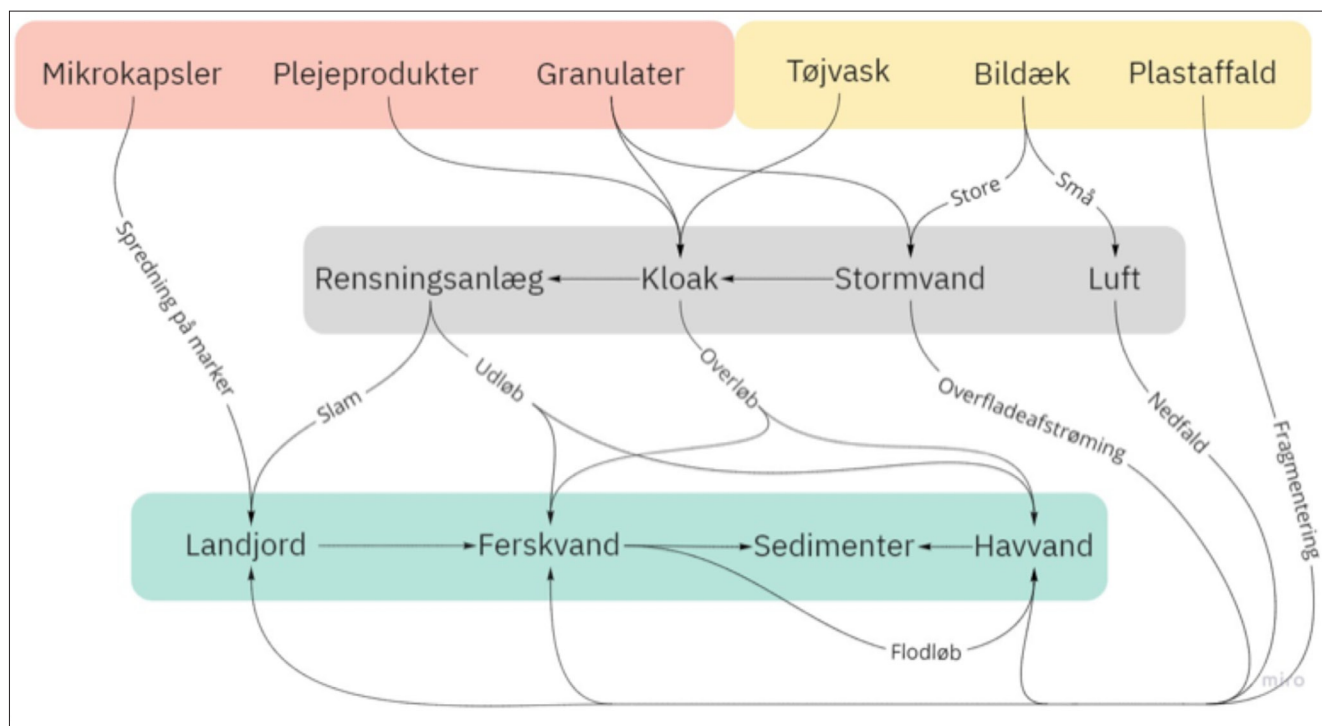
Friktion mellem dæk og vejbelægning forårsager en kontinuerlig frigivelse af dækslidpartikler til miljøet. Gummi (naturligt og syntetisk) udgør en stor del af dækkets slidbanemateriale. Andre vigtige komponenter er fyldstoffer, olier og tilsætningsstoffer. Emissioner af dækslidpartikler bidrager til tre miljøproblemer:

- I) Partikelforurening i luften på grund af deres evne til at blive luftbårne
- II) Mikroplastforurening i jord- og vandmiljø
- III) Kemisk forurening gennem udvaskning af bl.a. tilsætningsstoffer såsom zink

På globalt plan skønnes det, at der årligt udledes omkring 3,4 millioner ton dækslidpartikler /3/. En betydelig del bliver luftbårne: det estimeres at dækslidpartikler udgør på vægtbasis op til 11% af PM10 (partikelforurening mindre end $10 \mu\text{m}$) /3/. Partiklerne aflejres sidenhen i både vand- og jordmiljøet, selv fjerntliggende områder som f.eks. Arktis.

Den ikke-luftbårne fraktion vil blive transporteret væk fra vejen ved regnafstrømning, til nærliggende jord og vandløb, samt via kloak til spildevandsrensningsanlæg eller (i tilfælde af kloakseparering) direkte ud i naturen. Som en konsekvens heraf er dækslidpartikler påvist i luft, jord, sediment og vand. Mikroplast fra bildæk er en vanskelig problemstilling, da afslidning af partikler er nødvendig for slidbanens funktion, hvilket gør det udfordrende at finde en praktisk gangbar løsning.





Figur 1. Kilder, transportveje og endepunkter for mikroplast i miljøet. Rød og orange indikerer hhv. primære og sekundære kilder til mikroplast. Grå indikerer midlertidige opholdssteder, grøn længerevarende opholdssteder. Pilene indikerer transportveje mellem kilder og opholdssteder.

meget både i størrelse, form og kemisk sammensætning.

Hvad er kilderne til mikroplast?

For mikroplast skelner man mellem primær og sekundær mikroplast, afhængigt af om de er fremkommet ved en tilsigtet eller en utilsigtet proces. Primær mikroplast bliver produceret industrielt med en tiltænkt funktion som netop mikroplast og anvendes i bl.a. skrubbcremer, tandpasta og granulater til sandblæsning. Primær mikroplast har også anvendelse i vaskemidler, samt i indkapsling af gødningsstoffer og plantebeskyttelsesmidler for at opnå en mere kontrolleret frigivelse på landbrugsjord. Den samlede anvendelse af primær mikroplast i EU/EØS skønnes til ca. 145 000 ton/år /2/.

Sekundært mikroplast dannes ved slid på større plastprodukter som f.eks. syntetiske fibre fra tøjvask, slidpartikler fra bildæk (se Box 1) eller ved nedbrydning og neddeling (fragmentering) af større stykker plast (makroplast). For sekundær mikroplast kan det være vanskeligt at estimere omfanget af udledninger til miljøet, da der således ofte er tale om diffuse kilder.

Udledningen af mikroplast til vand- og jordmiljøet sker via forskellige transportveje, afhængigt af mikroplastens størrelse, massefylde og oprindelse. Transport kan ske med vind og især vand, herunder storm-, regn- og spildevand. Desuden findes der transportveje til

landbrugsjord og videre herfra til overflade- og grundvand. Endeligt kan mikroplast, som nævnt, dannes direkte i miljøet gennem nedbrydning af større stykker plastaffald.

Mikroplast fra makroplast

Der findes plastaffald overalt i naturen – også i Danmark, på trods af et effektivt system for affaldshåndtering. Dette er tydeligt blandt andet ud fra resultater fra "Masseeksperimentet", hvor 57.000 skolelever i efteråret 2019 indsamlede plastaffald over hele Danmark, på Færøerne og i Grønland. Der blev på en tre-ugers periode indsamlet mere end 370.000 stykker plastaffald, og resultater viste, at der fandtes plastaffald ved 98% af de undersøgte lokaliteter /4/. De hyppigst fundne typer af plastaffald var: cigaretfiltere, plaststykker og indpakning til chips og slik.

Et tidligere studie har estimeret, at der i EU årligt udledes og ophobes mellem 473.000 og 910.000 ton plastaffald på landjorden. Dette svarer til 4-23 gange den mængde, som udledes til havet /5/.

Når disse plastmaterialer udsættes for sollys kan det, især i kombination med høje temperaturer og mekaniske påvirkninger, føre til fragmentering. Henkastet plastaffald i naturen vil dermed over tid danne mikro- og nanoplast. Denne proces sker for plastmaterialer i både hav, på jord og i ferskvand. Hastigheden af nedbrydningsprocessen varierer dog imellem de forskellige miljøer, f.eks. forventes be-

grænset lys, i kombination med lave temperaturer og lavere iltindhold, at sænke hastigheden i dybereliggende vandlag i f.eks. havet.

Mikroplast fra spildevand

Mikroplast i spildevand kommer dels fra produkter og aktiviteter, hvor der bevidst tilsættes (primær) mikroplast. Det kan som nævnt være kosmetik og plejeprodukter, der skylles ud i håndvasken. Privat og industriel tøjvask er en anden kilde, hvorved (sekundær) mikroplast (mikrofibre) frigives ved mekanisk og kemisk slid (se Box 2) og skylles ud i kloakken med spildevandet. I områder med fælleskloakering, vil kloakvand desuden indeholde det mikroplast, der efter et regnskyl bliver vasket af veje og tage, som vist på Figur 1. Grundet et højt indhold af mikroplast i urensset husholdningsspildevand, får regnbetingede udledninger fra overløb en, relativt set, stor betydning for udledning af mikroplast til vandmiljøet i fælleskloakerede områder.

Studier har generelt påvist en høj grad af tilbageholdelse af mikroplast på renseanlæg, som anvender primær og sekundær rensning. På danske renseanlæg er der fundet en fjernelsesgrad på 99% for mikroplast med størrelser $>10 \mu\text{m}$ via traditionelle renseteknologier /6/. Det rensede spildevand vil dermed have langt lavere koncentrationer af mikroplast i forhold til indløb. Dog kan renseanlæg stadig anses som punktkilder for udledning af mikro-

Box 2. Mikroplast fra vask af tekstiler

Mikroplast kan dannes ved slid på større plastprodukter som f.eks. syntetiske fibre fra tøjvask. Ved vask af kunststof (polyester) i en normal vaskemaskine frigives der 124 - 308 mg mikrofibre pr. kg vasketøj ved første tøjvask. Omsat til et antal, svarer dette til 640.000 – 1.500.000 mikrofibrer pr. kg tøj /7/. Disse resultater er for forskellige typer af både strikket og vævet stof, hvilket har betydning for frigivelsen af mikrofibre. Mængden af fibre, som frigives, falder efter hver vask. Det er desuden fundet, at tørretumbling frigiver 3,5 gange så mange fibre som tøjvask /8/.

Mikrofibre kan også stamme fra industriel vask. Et eksempel på dette er vask af udlejningstelte lavet af polyvinylchlorid (PVC). Her er det fundet en koncentration på 45.000 mikrofibre pr liter i det resulterende spildevand /9/.

plast til vandmiljøet, om end størrelsen af bi-draget herfra er diskutabelt i forhold til andre (diffuse) kilder.

Mikroplast fra landbruget

Landbruget anvender plast til flere forskellige formål. Dette udgør en mindre del af det samfundets samlede plastforbrug, men grundet den tætte og direkte forbindelse mellem landbrug og jord- og vandmiljø er det dog stadig væsentligt at belyse nærmere.

Plast anvendes i landbruget til f.eks. vækst-tunneller og afdækningsfilm, som ved frag-mentering kan danne mikroplast. Desuden anvendes polymerer til indkapsling af frø, pesticider og gødning (til kontrolleret frigivelse), hvorved mikroplast spredes på markerne og kan udvaskes til vandmiljøet.

Mikroplast kan også utilsigtet tilføres landbrugsjord via afløb fra veje (herunder partikler fra bildæk) samt atmosfærisk nedfald af luft-bårne mikroplast partikler, som vist på Figur 1. Samtidig kan mikroplast blive tilført landbrugsjord via udbringning af spildevandsslam. Renseanlæg er, som nævnt, effektive til at tilbageholde mikroplast fra spildevand, hvor-med mikroplast ender i spildevandsslam. Ved udbringning af slam på landbrugsjord tilføres dermed også mikroplast.

Hvad sker der med mikroplast i miljøet?

Mikroplast transporteres til – og imellem – forskellige dele af miljøet med vind- og vandstrømme. For eksempel kan mikroplast fra veje og landbrugsjord nå vandmiljøet gennem overfladeafstrømning (se Figur 1). I Danmark har vi begrænset viden om forekomsten af mikroplast i overfladevand. Der findes dog målinger af mikroplast i regnvandsbassiner

i Nordjylland. Resultaterne herfra viser, at PVC, PS, PP, PE og polyester var de hyppigst forekomne plasttyper, og at koncentrationer af mikroplast i bassinerne varierede fra ca. 500 op til 21.000 stykker mikroplast per m³, afhængigt af bassinets opland (industri- eller boligområde)/10/.

Der er tidligere blevet gisnet om, hvorvidt mikroplast kan sive ned gennem jorden og forurene grundvandet. Baseret på eksisterende viden om transport af (plast)partikler gennem jord, formodes det, at mikroplast i høj grad vil blive tilbageholdt i jordsøjlen og således ikke udgøre et problem i det danske grundvand. Dette understøttes af målinger foretaget på seks lokaliteter (drikkevandsbo-ringer) landet over /11/. Mikroplast er heller ikke påvist i drikkevand fra taphaner i Dan-mark /12/.

På et tidspunkt vil mikroplasten ende et sted, hvor den tilbageholdes over længere tid. Landjord og havsedimenter er eksempler på miljøer, hvor mikroplast forventes at have en længere opholdstid. Her, eller undervejs, kan der ske en nedbrydning af plastpartiklerne, hvorved de fragmenterer yderligere (til nano-plast) og i sidste ende nedbrydes fuldstæn-digt. Som del af denne proces kan der dannes og frigives mindre molekyler som oligomerer (dvs. polymerenes 'byggeklodser') og flygtige organiske forbindelser.

Hvor længe det tager inden en mikroplast partikel er fuldt nedbrudt, afhænger af både partiklens kemiske sammensætning og forholdene i det pågældende miljø. Der findes kun bergænset viden på området. Samtidig er der stor variation i data bl.a. grundet forskellige testmetoder, testmaterialer og testforhold. Le-vetiden for mikroplast af forskellige polymer-typer i havet er eksempelvis estimeret til år el-

ler årtier (for hhv. ekspanderet PS og PE) /13/, hvor den fulde nedbrydningsproces fra makroplast kan tage flere århundreder.

Hvilke effekter kan de have?

Når mikroplast udledes til vandmiljøet, er der risiko for, at de interagerer med, og op-tages af, forskellige vandlevende organismer. Mikroplast kan desuden frigive en lang række potentielt skadelige kemikalier, inklusiv til-satte blødgørere, opløsningsmidler og flam-mehæmmere, der kan bidrage til negative biologiske effekter for miljø og mennesker. Ud fra tilgængelig data er det påvist, at mikro-plast i nogle tilfælde er årsag til negative effekter på vandlevende organismer. Det kan f.eks. være nedsat fødeoptag, nedsat vækst eller nedsat reproduktion. Vi ved til gengæld også, at der i nogle studier IKKE ses en effekt. En europæisk ekspertrapport fra 2019 /14/ konkluderer, at data på nuværende tidspunkt ikke tyder på, at mikroplast (og nanoplast) udgør en udbredt risiko for miljø og dyreliv. Dog er datagrundlaget for denne vurdering begrænset, og situationen kan ændre sig, hvis plastforurening fortsætter med at vokse med den nuværende hastighed.

Samtidig er det værd at bemærke, at hovedparten af effektstudier indtil nu har testet partikeltypen, som ikke er miljørelevante. Således har mange studier undersøgt effekter af sfæriske polystyrenpartikler og ofte i urealistisk høje koncentrationer. Laboratorietests har samtidig fokuseret på tests med enkelte orga-nismer. Vi ved langt mindre om, hvilke effekter mikroplast kan have i mere komplekse na-turlige systemer. Et nyere hollandsk feltstudie har f.eks. vist, at længere tids eksponering for lave koncentrationer af mikroplast kan påvirke biodiversiteten i et naturligt økosystem /15/.

For at nærme os en forståelse af reelle og mere udbredte miljøeffekter må der udføres forsøg baseret på miljørealistiske scenarier og med miljørelevante typer af mikro- og nanoplast.

Hvordan mindkes forureningen med mikroplast?

Primær mikroplast kan reguleres og begrænses opstrøms, dvs. inden de kommer i kontakt med mennesker og miljø. Et eksempel på dette er den foreslåede begrænsning af primær mikroplast i produkter, som sandsynligvis træder i kraft i EU/EØS i løbet af 2022. Denne indsats forventes at mindske udledningen af primær mikroplast med 500 000 ton over en 20-årig periode /2/.

Sværere er det at finde realistiske løsninger, som kan nedbringe udledningerne af sekundær mikroplast, som er den langt største kilde til mikroplast i miljøet. Et stigende globalt plastforbrug vil næsten uundgåeligt medføre øget plastforurening, og dermed øget dannelse og forekomst af mikroplast i miljøet. Den langsomme nedbrydning af plast og mikroplast betyder, at vores udledninger i dag fortsat vil være at finde i naturen mange årtier - og måske århundreder - fremover. Vi kan derved på sigt nå så høj akkumulering af plast og mikroplast, at de effekter, vi lige nu anser for urealistiske, pludselig bliver realistiske. Samtidig kan mikroplast (og nanoplast) vise sig at være mere problematisk end først antaget. Der er derfor gode argumenter for at nedbringe udledninger af plast og mikroplast ud fra et forsigtighedsprincip grundet 1) deres langsomme fjernelse fra miljøet og 2) den nuværende videnskabelige usikkerhed om potentielle effekter af både mikroplast partikler og deres tilhørende nedbrydningsprodukter.

Øget indsamling, genanvendelse og genbrug af plast, er en vigtig del af løsningen til at nedbringe udledninger af sekundær mikroplast til miljøet, både i Danmark og globalt. For andre kilder skal der findes nye teknologiske løsninger. Dette gælder slidpartikler fra bildæk, hvor frigivelsen fra dæk reelt kun mindskes ved mindre bilkørsel. Her vil det i stedet være relevant at se på opsamling af partikler langs vejene – eller på anden vis forhindre at de partikler, som uundgåeligt dannes, slipper ud i miljøet.

Plastproduktion, -forbrug og -forurening er emner, som breder sig over mange forskellige sektorer, miljøer og forskningsområder. Fremtidige løsninger kræver derfor en høj grad af tværfaglighed, fra polymerdesign, til affaldshåndtering, miljøkemi og miljøpsykologi.

Referencer

- /1/ Hartmann, N.B. et al. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science & Technology*, 53(3)
- /2/ ECHA, 2022, Microplastics, URL: <https://echa.europa.eu/da/hot-topics/microplastics>. Besøgt 10/1 2022.
- /3/ Baensch-Baltruschat, B. et al. (2020). Tyre and road wear particles (TRWP)-A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment. *Science of the Total Environment*, 733
- /4/ Syberg, K. et al. (2020). A nationwide assessment of plastic pollution in the Danish realm using citizen science. *Scientific reports*, 10(1)
- /5/ Horton, A.A. et al. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586
- /6/ Hartmann, N.B. et al (eds) (2018). *μPLAST* i

spildevand – renseteknologiers tilbageholdelse af mikroplast: MUDP-projekt.

- /7/ De Falco, F. et al. (2019). The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific reports*, 9(1), pp.1-11.
- /8/ Pirc, U. et al. (2016). Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(21)
- /9/ Dal Pio Luogo, B. et al. (2022). Reuse of water in laundry applications with micro- and ultra-filtration ceramic membrane. (under review)
- /10/ Liu, F. et al. (2019). Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds. *Science of the Total Environment*, 671.
- /11/ Miljøstyrelsen (2018). Usandsynligt at mikroplast forurener grundvandet, URL: <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2018/apr/usandsynligt-at-mikroplast-forurener-grundvandet/>. Besøgt 10/1 2022.
- /12/ Feld, L. et al. (2021). A Study of Microplastic Particles in Danish Tap Water. *Water*, 13(15), p.2097.
- /13/ Zhu, L. et al. (2020). Photochemical dissolution of buoyant microplastics to dissolved organic carbon: rates and microbial impacts. *Journal of Hazardous Materials*, 383
- /14/ Koelmans, B. et al. (2019). A scientific perspective on microplastics in nature and society. SAPEA
- /15/ Redondo-Hasselerharm, P.E. et al. (2020). Nano-and microplastics affect the composition of freshwater benthic communities in the long term. *Science advances*, 6(5)

NANNA B. HARTMANN (nibh@env.dtu.dk) er seniorforsker og ANN FLEMMING NIELSEN er forskningsassistent ved DTU Miljø, Institut for Vand og Miljøteknolog. De er begge tilknyttet sektionen for 'Circularity & Environmental Impact', der bl.a. forsker i stoffers skæbne i miljøet og effekter af kemikalier, nanomaterialer og mikroplast.