



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

Op weg naar microplastics monitoring in rivieren

Deel 3: Pilotmetingen microplastics in oppervlaktewater,
waterbodem en rivieroeveren

Samenvatting

In 2018 is het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) gestart met een beleidsprogramma voor de aanpak van de microplasticsproblematiek. Doel van dit beleidsprogramma is om verdere vervuiling van rivieren, zeeën en oceanen met microplastics te voorkomen. Voor plastics in de zoete en brakke wateren bevat het beleidsprogramma drie deelopdrachten 1. Ontwikkeling en uitvoering bron-aanpak plastic zwerfafval, 2. Ontwikkeling monitoring (plastic) zwerfafval in Rijkswateren en 3. Ontwikkeling monitoring van microplastic in Rijkswateren.

De resultaten van het onderzoek naar monitoring van microplastics dat Rijkswaterstaat (RWS) van 2020 tot en met 2022 in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat voor het beleidsprogramma heeft uitgevoerd, is vastgelegd in 4 deelrapporten. In dit – derde - deelrapport worden beknopte onderzoeken (“guerrilla studies”) beschreven, die zijn uitgevoerd naar microplastics-concentraties in oppervlaktewater (zwevend stof), waterbodems en rivieroeveren.

Microplastics zijn plastic en rubber deeltjes met een lengte tussen 0,001 mm (1 µm) en 5 mm. Er is gericht gezocht naar plastics en rubbers; kunstmatige polymeren die op basis van geproduceerde hoeveelheden en door RIVM geschatte emissies waarschijnlijk in meetbare concentraties in Nederlandse oppervlaktewateren te vinden zijn:

Polyetheen (PE)	Polypropeen (PP)	Polystyreen (PS)
Polyamide (PA)	Natuurlijk rubber (NR)	Polymethylmethacrylaat (PMMA)
Styreenbutadieen-rubber (SBR)	Polyethyleen-terephthalaat (PET)	

Resultaten onderzoek

In 2020 en 2021 zijn 57 monsters van zwevend stof in oppervlaktewater, waterbodems en sediment op rivieroeveren genomen, geconserveerd en geanalyseerd. Uit deeltjesgrootte analyses van het bemonsterde zwevend stof blijkt, dat meer dan 99% van de zwevend stof deeltjes kleiner is dan 0,3mm. Acht soorten microplastics zijn in deze monsters geïdentificeerd en gekwantificeerd met de analysemethode pyrolyse GC-MS. De concentraties - en samenstelling - van de 8 plastics en rubbers in de geanalyseerde monsters van zwevend stof, sediment en oeveren vertonen veel overeenkomsten waardoor duiding van transport, verspreiding en herkomst in rivieren mogelijk wordt.

Op basis van geproduceerde hoeveelheden en geschatte emissies van deze kunststoffen, is de kans het grootst om PE (verpakkingen en folies), gevolgd door SBR (autobanden) en PP (verpakkingen) in de hoogste concentraties te vinden in zwevend stof (waterkolom) of sediment (rivierbodems). De belangrijkste kandidaten om het analysepakket op basis van productiehoeveelheden en geschatte emissies uit te breiden, zijn PVC (bouw- en constructiematerialen) en PUR (verpakkingen en bouwmaterialen).

In zwevend stof, oeveren en waterbodems wordt voornamelijk (76-86%) PE aangetoond, gevolgd door SBR (7 – 11%). Andere plastics (PS, PP, PMMA, PA en NR) zijn ook aangetoond, maar leveren een kleine bijdrage aan de som van de gemeten concentraties. Voor PE wordt onderzocht of de analyse gestoord wordt door natuurlijk aanwezige polymeren.

De dominante aanwezigheid van PE en SBR past bij de verwachting op basis van vooral gebruik door consumenten (verbruik verpakkingen en slijtage autobanden door huishoudens) en geschatte emissies naar milieu in de openbare ruimte van deze veelgebruikte kunststoffen. Met Raman microscopie zijn enkele PET fibers gevonden, maar PET is niet aangetoond in concentraties boven de Detectiegrens van de GC-MS methode.

De gemiddelde plastics concentraties in sedimenten (Zuid Holland) of oeveren (Zeeland) zijn – rekening houdend met de bijdrage van bemonstering en analyse aan de meetonzekerheid – gelijk aan die van in zwevend stof. Door sedimentatie van zwevend stof uit oppervlaktewater neemt de hoeveelheid (kg) microplastics op de waterbodems toe. Maar er is geen meetbare toename van microplastics concentraties (g/kg) in sediment of oeveren, ten opzichte van microplastics concentraties in zwevend stof vast te stellen. Op meerdere locaties is de som van de verschillende soorten microplastics concentraties 16 (10 oeverlocaties) tot 125 (16 sedimentlocaties) keer lager dan in zwevend stof (3 oppervlaktewaterlocaties). De relatief minder vervuilde sedimenten en oeveren leiden er toe dat de spreiding van gemeten plastic concentraties in die matrices groter is dan de spreiding van gemeten microplastics concentraties in zwevend stof (RSD=28%), ondanks dat geografische locaties van de monsternamen voor sediment en oeveren in de onderzoeksgebieden veel dicht bij elkaar lagen dan die van zwevend stof.

RWS beschouwt de microplastics concentraties in dit rapport als indicatief, omdat de validatie van de analysemethode nog niet is afgerond.

Tabel 1 Som van 8 gemeten microplastics concentraties (g/kg droog) in zwevend stof, sediment en oevers en de bijdrage van PE en SBR aan de som.

Microplastics	Som (g/kg)	RSD	Min	Max	PE	SBR	N	Locaties
Zwevend stof	1,6	28%	1,0	2,4	76%	11%	30	3
Sediment	1,1	97%	0,03	3,8	79%	11%	17	16
Oevers	1,2	75%	0,15	2,5	86%	7%	10	10

Zichtbare microplastics

In oppervlaktewater komen weinig zwevend stof deeltjes (waar- onder microplastics) voor, die met het blote oog zichtbaar zijn. Minder dan 10% van de zwevend stof deeltjes was groter dan 20 µm. Voor het blote oog zichtbare microplastics (0,3 mm tot 5 mm) worden in grote aantallen op de rivieroevers, met name op de vloedlijn, gevonden (Plastic-Soup-Foundation, 2022). In het oppervlaktewater (tussen 10 en 290 cm diepte) komen zo weinig zichtbare microplastics voor, dat zelfs een monsternamevolume van 80 m³ (Rotterdam) of 160 m³ (Lobith, Eijsden) onvoldoende is om een uitspraak te kunnen doen over de hoeveelheid zichtbare microplastics (0,3 mm tot 5 mm) in oppervlaktewater. Mogelijk drijft een deel van de zichtbare microplastics (aan de oppervlakte), waardoor ze niet mee zijn bemonsterd in dit onderzoek omdat langdurige bemonstering op minder dan 10 cm diepte (nog) niet goed mogelijk was. Omdat de grootste microplastics een signifi- cante bijdrage aan een vracht kunnen leveren, is tijd geïntegreerde monstername van drijvende microplastics gewenst; voor een betrouwbare vrachtberekening zouden dit zwevend stof over de gehele waterkolom (bovenste laag tot bodem en over de gehele breedte van de rivier) mee moeten nemen in de bemonstering(en).

Er is berekend dat drijvende plastics onder invloed van de wind, getij en scheepvaart op de oevers terecht komen (Plastic-Soup-Foundation, 2022). Aanspoelen van zichtbare microplastics leidt tot hogere microplastics concentraties op de oevers, in vergelijking met meetresultaten in zwevend stof (waarin weinig zichtbare micro- plastics worden gevonden). Maar in de monsters die RWS heeft genomen uit bovenste bodemlaag van de oevers (schorren en slikken in de Westerschelde), zijn geen hogere concentraties microplastics gemeten. Mogelijk dat gerichte bemonstering op de vloedlijn hogere microplastics concentraties oplevert, ten opzichte van het monstermateriaal van de locaties waar RWS de schorren en slikken heeft bemonsterd.

Indicatieve vracht die Nederland binnenkomt via Rijn en Maas

Door de gemeten microplastics concentraties in zwevend stof te combineren met de zwevend stof concentraties in oppervlaktewater en de debieten van de Rijn (bij Lobith) en Maas (bij Eijsden), is een benadering mogelijk van de jaarlijkse hoeveelheid microplastics (“vracht”) in de Rijn en Maas op die locaties. Drijvende microplas- tics zijn niet bemonsterd en dus buiten beschouwing gelaten. Ook een mogelijke invloed van de breedte en diepte waar in de rivier is bemonsterd, is niet meegenomen in de schatting, omdat deze niet bekend is. De benadering is dus gebaseerd op de uitgangspunten dat concentratie over de gehele waterkolom bij Lobith en Eijsden gelijk is aan de gemeten concentratie op de meetlocatie tijdens een meting en dat er wordt uitgegaan van gemiddelde concentratie x gemiddeld debiet over een heel jaar. De grootste onzekerheden in deze benadering worden gezien in de bemonstering van voldoende zichtbare microplastics en in het berekenen van gemiddelde concentratie van zwevend stof over een jaar en niet in de gemeten gemiddelde concentratie van microplastics in/aan zwevend stof.

Via het oppervlaktewater van Rijn en Maas komt er -grof geschat – jaarlijks 3 miljoen kilo microplastics (waarvan 90% via de Rijn) naar Nederland. Er is nog geen goede benadering mogelijk van de vracht microplastics die naar zee gaat. Deze hoeveelheid ligt in lijn met metingen in Duitsland, waar met dezelfde analysemethode wordt gemeten.

Uitgaande van een vuilniswagen met een laadvermogen van 12 ton, past de grof geschatte jaarlijkse vracht microplastics van Rijn en Maas in 250 vuilniswagens.

Deze microplastics vracht is onderdeel van zwevend stof dat is bemonsterd in de Rijn en Maas, dat uit vrijwel uitsluitend uit zeer kleine, voor het blote oog onzichtbare (kleiner dan 0,3 mm) deeltjes bestaat. Met name deze onzichtbaar kleine microplastics kunnen aantoonbaar sterfte veroorzaken van vissenlarven en zoöplankton (Koelmans, 2020), die aan het begin van de voedselketen staan. Deze, vooral de kleinste, microplastics vormen dus een potentieel risico voor de ecologische waterkwaliteit van de stroomgebieden van Rijn en Maas.

Inhoud

Samenvatting	2
1 Inleiding	5
2 Vraagstelling	6
2.1 Microplastics concentraties in zwevend stof	6
2.2 Microplastics concentraties in sediment	7
2.3 Microplastics concentraties op oevers (schorren en slikken)	8
2.4 Zichtbare microplastics (0,3 – 5 mm)	8
2.5 Modelleren van het transport en de verspreiding van microplastics	9
3 Guerrilla studies	10
3.1 Microplastics concentraties in zwevend stof	10
3.2 Microplastics op rivieroever van slikken en schorren in Zeeland	13
3.3 Microplastics in sediment (rivierbodembodem)	14
3.4 Deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof en microplastics	14
3.4.1 Deeltjesgrootteverdeling van zwevend stof in aantallen deeltjes	14
3.4.2 Deeltjesgrootteverdeling op basis van volume	15
3.4.3 Microplastics deeltjesgrootteverdelingen	16
3.5 Zichtbare (0,3 – 3 mm) microplastics in rivierwater	17
4 Antwoord op 12 vragen over microplastics	18
4.1 Wat is een representatief zwevend stof monster dat gebruikt zou kunnen worden voor een microplastics analyse?	18
4.2 Welke microplastics zijn er in zwevend stof, sediment en rivieroever te vinden?	18
4.3 Hoe hoog zijn microplastics concentraties in zwevend stof, sediment en rivieroever?	18
4.4 Hoe veel variëren microplastics concentraties gedurende 8 maanden op 1 locatie?	19
4.5 Is er verschil in de gemiddelde microplastics concentraties in zwevend stof tussen Lobith, Eijsden en Rotterdam?	19
4.6 Zijn microplastics concentraties in sediment of oevers hoger dan in zwevend stof?	19
4.7 Is het mogelijk om microplastics in zwevend stof voldoende nauwkeurig te bemonsteren en te meten voor een monitoringsprogramma?	19
4.8 Is het mogelijk om microplastics in sediment of oevers voldoende nauwkeurig te bemonsteren en te meten voor een monitoringsprogramma?	20
4.9 Welke vracht microplastics komt jaarlijks via Rijn en Maas het land in?	20
4.10 Komen de microplastics van de rivieroever terecht in het water, op de waterbodembodem of op de schorren en slikken?	20
4.11 Waarom is er aanvullend onderzoek nodig naar drijvende microplastics?	20
4.12 Komen er nanoplastics voor in Rijn en Maas?	20
Bijlage: Data	22

1 Inleiding

Voor het programma Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL (RWS)), zijn in de zoete en zoute Nederlandse Rijkswateren een morfologisch, waterkwantiteit-, chemisch, biologisch (inclusief zwemwater) en een afval- meetnet ingericht.

De data van het MWTL-monitoringprogramma worden gebruikt voor:

- operationeel waterbeheer
- trendbepaling
- toetsing aan normen
- leveren van nationale en internationale rapportages, waaronder vrachtberekeningen.

Op 4 juni 2018 is de Tweede Kamer geïnformeerd over het beleidsprogramma microplastics. Doel van het programma is verdere vervuiling van rivieren, zeeën en oceanen door bronnen van microplastics te voorkomen. Microplastics worden gedefinieerd als alle plastic en rubber deeltjes van 1 µm tot 5 mm. Het beleidsprogramma voor microplastics bevat drie deelopdrachten

1. Ontwikkeling en uitvoering bronaanpak plastic zwerfafval,
2. Ontwikkeling monitoring (plastic) zwerfafval in Rijkswateren
3. Ontwikkeling monitoring van microplastics in Rijkswateren.

RWS voert in het kader van Milieuconventie voor Noord-Atlantisch gebied en Noordzee (Ospar, sd) en voor Kaderrichtlijn Marine Strategie (KRM) ook monitoring uit naar microplastics in de Nederlandse zoute wateren. Vraagstelling, strategie, bemonstering en analyse van microplastics in deze zoute wateren vallen buiten het bereik van dit rapport.

Microplastics worden gedefinieerd als alle plastic en rubber deeltjes van 1 µm tot 5 mm. Microplastics worden in MWTL nog niet gemonitord. Voor microplastics monitoring in de zoete wateren is het doel van het programma om een concrete microplastics monitoringmethodiek (strategie, bemonstering, analyse en modelstudies) te ontwikkelen voor microplastics aanwezigheid, transport en verspreiding in de rivieren waarmee:

1. microplastics in oppervlaktewater rivieren (in zwevend stof) geïdentificeerd worden
2. microplastics concentraties in dit zwevend stof (g/kg) gekwantificeerd worden
3. op basis van deze resultaten te schatten welke vracht microplastics via de rivieren Nederland inkomt en vanuit de rivieren naar zee gaat
4. met behulp van modellering en met de verkregen monitoringsresultaten een beeld gegeven kan worden van hoe de trend van vracht aan microplastics zich in het Rijn- en Maas-stroomgebied ontwikkelt

Nadat de methode is ontwikkeld kan een onderbouwd besluit genomen worden om microplastics op te nemen in het MWTL.

Het microplastics onderzoek dat RWS van 2020 tot en met 2022 voor het beleidsprogramma heeft gedaan, is vastgelegd in 4 deelrapporten:

1. Monsternamen van zwevend stof voor microplastics analyses (medio 2023)
2. Analyse van microplastics (medio 2023)
3. Resultaten pilotmetingen microplastics in oppervlaktewater, waterbodems en oevers (medio 2023)
4. Advies Microplastics monitoring (medio 2024)

Dit deelrapport beschrijft de meetresultaten van pilots voor bemonstering en analyse naar concentraties microplastics in oppervlaktewater (lees: in zwevend stof), waterbodems en rivieroevers. Deze “guerrilla onderzoeken” hebben als doel een indruk te krijgen van te verwachten microplastics concentraties in de Rijn en Maas en de gekozen methoden te testen.

Omdat er soms grote aantallen zichtbare microplastics aanwezig zijn op rivieroevers, wordt specifiek ingegaan op de vraag in hoeverre zichtbare microplastics voorkomen in oppervlaktewater en sediment.

2 Vraagstelling

De belangrijkste vraag voor dit deel van het onderzoek, is hoe monitoring een betrouwbaar antwoord kan geven op de vragen:

- Hoe veel kg microplastics (welke hoeveelheid (“vracht per jaar”) en welke plastics) komt er per jaar via de Rijn en Maas Nederland in?
- Hoe veel kg microplastics gaat er via deze rivieren naar de Noordzee?

Voor waterbeheerders, waaronder RWS, is niet alleen de concentratie microplastics in oppervlaktewater belangrijk, maar ook de microplastics concentratie in waterbodems en op rivieroeveren, want dit is ook integraal deel van het te beheren watersysteem en bepaalt mede hoe de waterbeheerder zijn taak als waterkwaliteitbeheerder kan en moet invullen.

Dit deelrapport richt zich op microplastics concentraties gemeten in oppervlaktewater (zwevend stof), waterbodems en rivieroeveren. Onderbouwing en beschrijving van de toegepaste bemonstering- en analysemethoden staan in twee eerdere deelrapporten. Omdat de wijze van monsternamen van invloed is op de interpretatie van de meetresultaten, wordt er ook in dit deelrapport aandacht besteed aan monsternamen van zwevend stof. Daarnaast wordt aparte aandacht besteed aan aantallen zichtbare microplastics (0,3-5 mm), omdat deze microplastics op sommige plaatsen in grote aantallen op rivieroeveren worden gevonden.

Kennis over de verspreiding van zowel de grote, zichtbare als kleine, onzichtbare microplastics is van belang. De grootste microplastics leveren de grootste bijdrage aan een microplasticsvracht, omdat de massa van een deeltjes evenredig is met de straal tot de derde macht (r^3). Op termijn zullen grote microplastics uiteenvallen in zeer kleine fragmenten. En het zijn juist de met het oog en microscoop niet zichtbare microplastics, die grootste risico op sterfte van vissenlarven en zoöplankton kunnen veroorzaken (Koelmans, 2020), wat van invloed kan zijn op het functioneren van ecosystemen. Voor de mens vormen juist de microplastics kleiner dan 10 μm een mogelijk gezondheidsrisico, (Steve Allen, 2022) omdat ze zo klein zijn dat ze door celmembranen heen kunnen, waarna de kans op ontsteking wordt vergroot. (Sergio Caputi, 2022).

De manier van monsternamen en analyse heeft grote invloed op de uitkomsten van microplastics onderzoek. Dat komt onder andere door het enorme deeltjesgrootte bereik van microplastics. Er is relatief veel bekend over “zichtbare microplastics” ($>0,3$ mm). Maar over “onzichtbare microplastics” ($<0,3$ mm), met name microplastics $< 20 \mu\text{m}$ en nanoplastics ($< 0,1 \mu\text{m}$), is minder bekend. De grens tussen zichtbare en onzichtbare microplastics is zodanig gekozen, dat ze aansluit bij een 0,3 mm zeef. Dat is een behoudende keuze: de meeste mensen hebben geen problemen met het onderscheiden van een menselijke haar, met een dikte van circa 0,1 mm.

De grootste microplastic (5 mm) is 5000 keer zo lang als de kleinste microplastic (1 μm). Eén microplastic bolletje van 5 mm weegt net zo veel als 125 miljard microplastic bolletjes van 1 μm . De kans is klein dat deze microplastics zich hetzelfde gedragen. Het streven is om zowel een bemonsteringsmethode als een analysemethode toe te passen, die geschikt is voor microplastics van 1 μm tot 5 mm.

De [grotere microplastics komen veel minder voor, dan de kleinere \(Merel Kooi, 2019\)](#). Dit betekent voor de monsternamen dat

- Om voldoende van de grootste microplastics van 5 mm te bemonsteren voor een nauwkeurige analyse voor deze grootteklasse van microplastics, moet meer dan 500 m^3 Rijn of Maaswater bemonsterd moeten worden: Voor het onderzoek in dit rapport werd afhankelijk van de locatie tussen 80 en 160 m^3 bemonsterd en zijn we geen microplastics van 5 mm tegengekomen. Ter vergelijking: in door anderen gepubliceerd onderzoek wordt meestal tussen 0,5 en 5 m^3 bemonsterd.
- Voor de kleinste microplastics is er een ander probleem: Tijdens de bemonstering met een 1 μm zeef of filter, verstopt het filter of de zeef relatief snel afhankelijk van concentratie van zwevend stof in te bemonsteren oppervlaktewater, waardoor de kans op een niet-representatief monster heel groot wordt, simpelweg omdat de tijdsduur van de bemonstering extreem kort wordt. Door de verstopping blijven de kleinste microplastics op het filter achter, in plaats van door het filter gaan.

2.1 Microplastics concentraties in zwevend stof

Microplastics komen in het oppervlaktewater terecht door onder andere afbraak van plastic en door slijtage van banden. Voor het berekenen van een vracht microplastics stromend door een rivier over een periode op een meetlocatie, vereist nauwkeurig gemeten microplastics concentraties en debieten van het oppervlaktewater over die periode.

Om microplastics te meten, wordt eerst zwevend stof bemonsterd door oppervlaktewater op te pompen en daarna het zwevend stof – inclusief de microplastics – te scheiden van het water. Vervolgens wordt organisch en anorganisch zwevend stof gescheiden van de microplastics. Ten slotte worden microplastics geïdentificeerd en gekwantificeerd.

Microplastics hebben onderling sterk verschillende chemische en fysische (dichtheid, grootte) eigenschappen. Ook de aanvoer van microplastics kan door wind, regen of stroming in een rivier veranderen. Zowel in de tijd als in de ruimte (plaats en diepte) kunnen microplastics concentraties in het oppervlaktewater hierdoor variëren. De hoeveelheid microplastics in oppervlaktewater hangt mogelijk af van:

- de bemonsteringslocatie

- het debiet (lagere of hogere plastic concentraties door regenval of droogte)
- de plaats en diepte waar op een locatie wordt bemonsterd
- het moment en de tijdsduur van de monsternamen
- getijdenbewegingen
- stroming
- het watervolume dat wordt bemonsterd
- de eigenschappen van een microplastic-deeltje
- lokale bronnen in de buurt van de monsternamen

In het eerste deelrapport is beschreven hoe de invloed van monsternamemethode, monsternamediepte en het bemonsterde watervolume zijn onderzocht. RWS heeft dat gedaan op basis van langdurige, [tijd geïntegreerde bemonstering met een sedimentkist](#) (Maria Kittner, 2022).

Om microplastics concentraties in zwevend stof uit Rijn en Maas te meten, is in de periode 2020-2021 in Rotterdam (n=23), Lobith (n=5) en Eijsden (n=2) zwevend stof bemonsterd. Rotterdam (Nieuwe Maas, RDM aquadok) ligt stroomafwaarts, maar niet zo dicht bij zee als MWTL locaties waar de invloed van eb en vloed extra variatie van de watersamenstelling veroorzaakt (Hoek van Holland). Lobith (Bovenrijn) en Eijsden (Bovenmaas) zijn gekozen omdat daar Rijn en Maas ons land inkomen. Dit zijn ook locaties waar RWS in haar reguliere meetprogramma MWTL gebruikt maakt van vaste meetstations voor (hoog)frequent metingen waterkwaliteit van het aangevoerde oppervlaktewater. Op basis van de meetresultaten van Lobith en Eijsden kan een grove schatting gemaakt worden van de hoeveelheid microplastics die via Rijn en Maas Nederland binnenkomen.

Onderzocht is de variatie in microplastics concentraties gedurende het jaar op een vaste locatie. Om een antwoord te krijgen op deze vraag is in Lobith zwevend stof bemonsterd, onder wisselende omstandigheden (zomer/winter, hoog/laag water, veel/weinig zwevend stof).

Microplastics per liter water, of per kg zwevend stof?

Zwevend stof – waaronder microplastics – in rivierwater wordt (vanaf het moment dat het niet meer zweeft) de bovenste laag van een waterbodem. Hoe langzamer een rivier stroomt, des te meer zwevend stof (en dus microplastics) daar op de waterbodem terecht komt. Voor beleid en beheer van waterbodems is van belang:

- Waar en hoe veel zwevend stof en microplastics op de waterbodem terechtkomen
- In welke mate concentraties van een verontreiniging (in dit geval: microplastics) in de waterbodem veranderen door sedimentatie

In de meeste onderzoeken worden microplastics in oppervlaktewater gekwantificeerd per liter of m³ water. Echter, de meest geschikte wijze van kwantificering, hangt af van het doel waarvoor de meetresultaten gebruikt gaan worden. In dit rapport wordt gekozen voor gram per kilogram (g/kg). Want om vast te stellen of concentraties in waterbodem toenemen door sedimentatie van zwevend stof, moeten zowel de concentratie in waterbodem als die in zwevend stof in dezelfde eenheid worden weergegeven. Dit is alleen mogelijk met: (gram) plastics per kg droog materiaal (zwevend stof of sediment).

Een vergelijking van microplastics per kg gedroogd sediment met microplastics per liter water is immers een vergelijking van euro's (per kg droog sediment) met Zweedse kronen (per m³ water). Bij een zwevend stof gehalte van 100 mg per liter is de "wisselkoers" van microplastics per liter water naar microplastics per kg droog sediment een factor 10000.

Zwevend stof gehalten variëren (soms sterk) in de tijd: in één maand (juli 2021, bijvoorbeeld) kan de hoeveelheid zwevend stof in Lobith variëren van 7 tot 240 mg per liter. Gemiddeld was de hoeveelheid zwevend stof in Lobith die maand 43 mg/l, met een enorme variatie (RSD: 100%). De hoeveelheid zwevend stof in het oppervlaktewater van Lobith varieerde een factor 34 binnen een maand, terwijl het zeer onwaarschijnlijk is dat microplastics samenstelling van het sediment in diezelfde maand ook zo drastisch verandert.

Voor het berekenen van de hoeveelheid microplastics die via de rivieren Nederland binnenkomt of naar zee stroomt, is de hoeveelheid microplastics per liter water en het debiet van de rivier nodig. In het MWTL wordt dagelijks in Eijsden en Lobith de hoeveelheid zwevend stof per liter water en de debieten van Rijn en Maas gemeten. Door deze data te vermenigvuldigen met de gemeten microplastics concentraties in het zwevend stof (g/kg) dat op deze locaties in dezelfde periode is verzameld, wordt een ruwe schatting van microplastics hoeveelheden ("vrachten") in Rijn en Maas gemaakt.

Voor het met elkaar vergelijken van microplastics concentraties van twee locaties (stroom op- en afwaarts), is het noodzakelijk om het moment van monsternamen zo uit te kiezen, dat op beide locaties de top (of dal) van de zwevend stof piek passeert. Door vergelijking van die twee monsternamemomenten is mogelijk vast te stellen welke hoeveelheid microplastics tussen beide locaties uit het water op rivieroeveren en/of waterbodems terecht zijn gekomen. Deze methode is een verbetering op veel bestaande onderzoeken, waarbij geen rekening wordt gehouden met de natuurlijke variatie van zwevend stof concentraties op de afzonderlijke locaties.

2.2 Microplastics concentraties in sediment

Als zwevend stof maar zwaar genoeg is en de rivier langzaam genoeg stroomt, dan blijft het zwevend stof op de waterbodem liggen en wordt (deels) onderdeel van de toplaag van deze waterbodem. Zwevend stof wordt deel van de toplaag van het sediment. Hetzelfde geldt voor microplastics: zware microplastics zakken naar de bodem. Toch kunnen ook microplastics die lichter zijn dan water, in sediment terechtkomen.

Zwevend stof heeft de neiging om te aggregeren. Die aggregaten kunnen bestaan uit meerdere materialen. Als een zandkorrel samenklontert met een plastic die lichter is dan water, kan dat plastic toch op de waterbodem terechtkomen.

De microplastics die naar verwachting het meest in zwevend stof voorkomen (PE, SBR en PP) zijn lichter dan water. Die zullen niet sedimenteren, tenzij ze samenklonteren met zwaardere materialen. De kans om microplastics in sediment aan te treffen, is dus waarschijnlijk het grootst op de plaats waar de meeste sedimentatie plaatsvindt. Mogelijk zelfs verder stroomafwaarts, omdat samenklontering met een licht microplastic deeltje er voor zorgt dat de zandkorrel langer blijft drijven of zweven.

Stroomopwaarts hebben we in Nederland bij de Rijn en Maas in plaats van sedimentatie te maken met erosie: de rivier stroomt er snel (de gemiddelde stroomsnelheid van de Rijn varieert in Nederland van 0,5 tot 1,5 m/s) en neemt materiaal van de waterbodem mee, waardoor de vaargeul op sommige plaatsen dieper wordt.

Stroomafwaarts neem de stroomsnelheid van een rivier af, waardoor steeds meer zwevend stof op de waterbodem blijft liggen en de vaargeul steeds minder diep wordt. Aan het eind van een rivier wordt het meeste gebaggerd om de vaargeulen in stand te houden.

Onderweg kan door een stuw, vernauwing of verbreding van een rivier (als de diepte gelijk blijft) op een specifieke locatie extra sedimentatie of erosie plaatsvinden.

Om de vraag te beantwoorden of microplastics concentraties in sediment hoger of lager zijn dan in zwevend stof, zijn 17 sedimenten bemonsterd op 16 locaties. De monsternamelocaties zijn gekozen door RWS West-Nederland Zuid, waarbij is gekozen voor een variatie aan watersystemen en aansluiting bij voor 2022 geplande monsternamecampagnes. De meeste monsters zijn genomen in de rivierendelta, omdat daar de meeste sedimentatie plaatsvindt.

2.3 Microplastics concentraties op oevers (schorren en slikken)

Microplastics liggen op rivieroevers en zitten in rivieroevers. Plastic afval komt op een oever terecht, waarna dat afval fragmenteert tot microplastics. Daarnaast kunnen microplastics door de lucht aangevoerd worden, bijvoorbeeld als bandenslijpsel van het wegdek naar een oever waait. Microplastics kunnen ook – net als plastic afval – door de rivier aangevoerd worden en op de oever aanspoelen. In dat geval zullen de meeste microplastics op deloedlijn gevonden worden.

Met verloop van tijd zullen al deze microplastics bedolven worden onder nieuw door wind en rivier aangevoerd materiaal. In een gebied met eb en vloed kan het relatief schone zeewater er voor zorgen dat bij vloed een oever (“slik”) geheel of gedeeltelijk ontdaan wordt van de (lichtere) microplastics.

Om een indruk te krijgen van microplastics concentraties op rivieroevers, zijn er 10 monsters genomen op schorren en slikken in de Westerschelde. Schorren zijn rivieroevers die slechts incidenteel, bij extreem hoog water, onder water komen te staan. Slikken zijn rivieroevers, die door eb en vloed 2 keer per dag onder water komen te staan. De monsternamelocaties zijn gekozen door RWS Zee en Delta, waarbij is gekozen voor een variatie aan watersystemen en aansluiting bij voor 2022 geplande monsternamecampagnes.

2.4 Zichtbare microplastics (0,3 – 5 mm)

Zichtbare (>0,3 mm) microplastics worden regelmatig – en op sommige plekken in grote aantallen – op deloedlijn van oevers gevonden (Figuur 1).

Er zijn in relatie tot deze beleidsopdracht twee redenen om extra aandacht te besteden aan zichtbare microplastics in oppervlaktewater:

1. Grotere kans op zinken (Dirk SCHAEFER, 2021), drijven of aanspoelen dan voor kleinere microplastics
2. Door formaat een grotere relatieve bijdrage aan de vracht

Grotere kans op zinken, drijven of aanspoelen van zichtbare microplastics

Eventuele afwezigheid van zichtbare microplastics in de analyse-resultaten voor oppervlaktewater, kan een bewijs zijn dat de grotere microplastics weinig of niet voorkomen in oppervlaktewater. Maar het kan ook veroorzaakt worden door de manier waarop het monster genomen is (hoeveelheid monstermateriaal, diepte, breedte, methode).

Niet alleen zijn er relatief veel minder zichtbare microplastics, het gedrag van grote deeltjes in een rivier verschilt ook enorm van het gedrag van de kleinste deeltjes.



Figuur 1 Vrijwilligers op zoek naar aangespoelde microplastics (Plastic-Soup-Foundation, 2022)

Afhankelijk van de dichtheid van een plastic blijven zichtbare microplastics beter drijven, of zinken ze eerder, dan de onzichtbare microplastics.

Als voorbeeld: bij stromend water verdelen grotere microplastics zich onder invloed van het stromingsprofiel van de rivier onregelmatiger over de breedte en diepte van de rivier, waardoor (zoals in Figuur 2) bemonstering op de linker oever totaal andere concentraties op kan leveren dan bij bemonstering op de rechteroever (Dirk SCHAEFER, 2021).

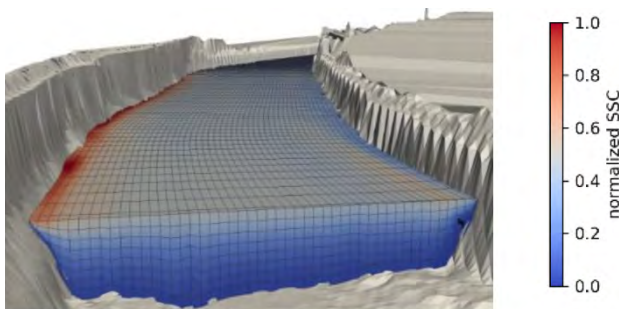
Omdat de stroming van een rivier met de tijd sterk kan veranderen (op een vaste locatie) en verschillen (tussen locaties), zullen met name de grotere microplastics zich in de tijd telkens anders over een rivier (breedte en diepte) verspreiden.

In dat geval is de kans dat microplastics concentraties gedurende langere tijd constant blijven, heel klein; zelfs bij bemonstering op een vaste hoogte op een vaste locatie. De kans bestaat dat kleinere microplastics zich op een andere manier over de breedte en diepte van een rivier verdelen dan grotere microplastics.

De variatie in microplastics concentraties op een vaste locatie, op een vaste hoogte, hebben we getest in Lobith, door microplastics in zwevend stof te meten op 1 locatie, gedurende 8 maanden onder sterk wisselende omstandigheden (debiet en zwevend stof concentraties).

Deeltjesgrootteverdeling van het bemonsterde zwevend stof

Het is niet mogelijk om alleen de microplastics uit een rivier te bemonsteren. In rivierwater wordt daarom zwevend stof bemonsterd, waarvan de microplastics een klein deel uitmaken. In de literatuur zijn aanwijzingen te vinden dat een deeltjesgrootteverdeling van microplastic op deeltjesgrootteverdeling van zwevende stof lijkt.



Figuur 2 Berekende microplastics verdeling van zichtbare (5mm) PP deeltjes in de bocht van een rivier. (Dirk SCHAEFER, 2021)

Als er zich in sediment of op de oevers veel meer zichtbare microplastics zouden bevinden, dan in zwevend stof, dan vertaalt zich dat bij een massameting in hogere microplastics concentraties: omdat het volume (en dus de massa) van zichtbare microplastics zo enorm groot is ten opzichte van de andere microplastics, zal een TED GC-MS meting van een sediment of oevermonster met daarin enkele zichtbare microplastics zich onmiddellijk onderscheiden van een meting zonder zichtbare microplastics.

2.5 Modelleren van het transport en de verspreiding van microplastics

De vragen die met monitoring kunnen worden beantwoord, kunnen pas beantwoord worden nadat is aangetoond dat de methoden voor bemonstering en analyse toepasbaar zijn voor een betrouwbare monitoring. Het monitoren kan verder worden ingericht en vooral geoptimaliseerd met gebruik van resultaten vanuit modelleren.

Er is nog relatief weinig bekend over het gedrag van microplastics in rivieren. Ook zijn er voor microplastics in rivieren en in waterbodembodem nog geen betrouwbare tijdreeksen gemeten.

De ontwikkeling van een model vraagt om veel kennis van gedrag van deeltjes en vraagt veel meetgegevens voor het afstemmen van een model op de werkelijkheid in die rivieren. Het duurt daarom nog een aantal jaar om een model te ontwikkelen voor de verspreiding van microplastics in de rivieren, waterbodembodem en de bijbehorende oevers.

Monitoringsresultaten kunnen worden gebruikt als input voor de berekening van het transport en de verspreiding van microplastics in het Rijn en Maasstroomgebied in tijd en ruimte. Een betrouwbaar ("gevalideerd") model heeft als voordeel dat er kostenbesparing op de monitoring van microplastics mogelijk is. De verspreiding van microplastics kan dan op basis van een beperkt aantal recente metingen geschat worden. Een goed gevalideerd model maakt het ook mogelijk om op basis van een relatief kleine dataset van betrouwbare monitoringsresultaten uitspraken te doen over het transport en de verspreiding van microplastics in de Nederlandse rivieren.

Met de resultaten van het voorlopige monitoringsprogramma voor microplastics in zwevend stof levert RWS in 2023-2025 een bijdrage aan de validatie van het microplastics verspreidingsmodel van RIVM.

3 Guerrilla studies

In dit hoofdstuk staan de resultaten van beknopte onderzoeken (“guerrilla studies”) naar microplastics concentraties in zwevend stof, waterbodembodem en oevers die RWS in 2021 en 2022 heeft uitgevoerd.

Deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof uit Rotterdam, Lobith en Eijsden zijn gemeten, als indicator voor de aanwezigheid van zichtbare microplastics (0,3-5 mm) in oppervlaktewater.

Op basis van de gemeten microplastics concentraties in zwevend stof is een ruwe schatting gemaakt van microplastics vrachten in de Rijn (Lobith) en Maas (Eijsden).

3.1 Microplastics concentraties in zwevend stof

Tijdens het onderzoek zijn er in 2020 en 2021 op 3 locaties met een sedimentkist in totaal 30 zwevend stof monsters bemonsterd en geanalyseerd op microplastics, waarvan:

- 23 monsters in Rotterdam bemonsterd tussen 23 februari en 5 oktober 2021 (gedurende 14 dagen, voornamelijk 10 cm diepte, aangevuld met bemonsteringen op 50, 80, 200 en 290 cm diepte)
- 5 monsters in Lobith tussen 18 november 2020 en 28 juli 2021 (periodes van 28 dagen, op 10 cm diepte)
- 2 monsters in Eijsden tussen 13 januari en 7 april 2021 (gedurende 28 dagen, op 10 cm diepte)

Monsternames vond plaats onder (bewust gekozen) variërende experimentele omstandigheden (zoals bemonsteringsdiepte en pompsnelheid).

De TED GC-MS analyses van zwevend stof zijn gericht op:

- Welke soorten microplastics (polymeersamenstelling) zijn aanwezig in het zwevend stof van deze locaties?
- In welke concentratiebereik zijn microplastics in zwevend stof aanwezig?
- In welke mate variëren microplastics concentraties op een vaste locatie, gedurende een jaar?
- In hoeverre is er een verschil in microplastics samenstelling en concentraties tussen Lobith, Eijsden en Rotterdam?

De meetresultaten, monsternamedata en coördinaten van de monsternamelocaties staan in Tabel 8, bijlage.

Welke microplastics zitten in zwevend stof?

Zowel microplastics met een dichtheid groter (PMMA, NR, PA) als kleiner (PE, PP, SBR) dan de dichtheid van water, komen voor in zwevend stof (Omnexus, 2022). Bij PS is de dichtheid afhankelijk van de toepassing groter (onbewerkt) of kleiner (EPS / “piepschuim”) dan water.

PE en SBR werden vrijwel altijd aangetoond. NR en PS werden in meer dan 90% van de monsters aangetoond. PP, PMMA en PA in respectievelijk 66%, 33%, en 18% van de monsters. Met Raman microscopie zijn in een verkennend onderzoek enkele PET fibers in zwevend stof gevonden, maar PET is niet aangetoond in concentraties boven de detectiegrens van de TED GC-MS analyse.

In welke concentraties komen microplastics voor in zwevend stof?

In 30 geanalyseerde zwevend stof monsters die in Lobith, Eijsden en Rotterdam op meerdere dieptes zijn bemonsterd met een sedimentkist, lag de som van de 8 gemeten microplastics concentraties tussen 1,0 en 2,4 g/kg (gemiddeld: 1,6 g/kg).

PE (76%) en SBR (11%) leveren samen 87% van de som van de 8 gemeten microplastics concentraties in zwevend stof. De andere microplastics komen in zwevend stof voor in veel lagere concentraties.

Deze concentraties komen overeen met, met dezelfde methode gemeten, [microplastics metingen in de Donau](#) (Maria Kittner, 2022) en in de Rijn (G. Dierkes, 2019). In de Donau werden concentraties in de zwevend stof fractie <100 µm (gezeefd) gemeten voor PE (max. 2.38 µg/mg), PS (max. 0,09 µg/mg), en SBR (max. 0,21 µg/mg). In de zwevend stof fractie >100 µm werden in de Donau een ordegruote hogere concentraties gevonden. In Nederland bevat het zwevend stof in Rijn en Maas weinig zwevend stof dat groter is dan 100 µm (zie: 3.4.2). [In de Rijn \(bij Koblenz\) werden microplastics concentraties gemeten](#) van 0,98 g/kg, waarin PS < 0,008 en 0,038 g/kg PP.

Wat is de variatie van microplastics concentraties gedurende een jaar?

Verspreid over 7,5 maanden is in 5 periodes van ±28 dagen in Lobith zwevend stof bemonsterd met een sedimentkist. Tijdens de monsternames varieerde het debiet van de Rijn bij Lobith een factor 7: van 1050 m³/s (4-12-20) tot 6700 m³/s (18-7-21). De zwevend stof concentraties in Lobith varieerden tijdens deze monsternames een factor 78: van 5 mg/l (27-12-20) en 390 mg/l (15-4-21). Tabel 2 geeft de microplastics concentraties in deze monsters weer.

Tabel 2 Microplastics concentraties (g/kg droog zwevend stof) in Lobith (gemiddeld debiet tijdens monstername), na tijd geïntegreerde bemonstering met een sedimentkist.

Start	Eind	PE	RSD	SBR	RSD	Σ8mp	RSD
18-11-20 (1165 m ³ /s)	16-12-20	1,9	12%	0,19	24%	2,4	13%
16-dec-20 (1850 m ³ /s)	13-1-21	1,6		0,19		2,1	
7-4-2021 (1684 m ³ /s)	3-5-2021	1,6		0,10		1,8	
2-jun-21 (2220 m ³ /s)	29-6-21	1,5		0,15		1,9	
29-jun-21 (3800 m ³ /s)	28-7-21	1,4		0,19		1,8	

De som van 8 microplastics concentraties (g/kg) in Lobith is 2,0 g/kg, met een spreiding (RSD) van 13% RSD (n=5). De spreiding van microplastics concentraties over deze lange periode, waarin monsters zijn genomen in meerdere jaargetijden onder sterk wisselende omstandigheden, is verrassend klein. Te meer omdat de spreiding (RSD) van 13% niet alleen wordt veroorzaakt door variatie in de tijd van microplastics concentraties (tabel 3) in het oppervlaktewater, maar ook door monsternamen en analyse.

Van Eijsden zijn 2 monsters geanalyseerd, bemonsterd met een sedimentkist van 13-1-21 tot en met 10-2-21 en van 10-3-21 tot en met 7-4-21.

In deze periodes varieerde het debiet een factor 11: van 166 m³ op 31-3-21 tot 1800 m³ op 30-1-21. Het debiet was in de eerste bemonsteringsperiode (930 m³/s) gemiddeld twee keer zo hoog als in de tweede bemonsteringsperiode (530 m³/s).

De zwevend stof concentraties varieerden een factor 34: van 5 mg/l (diverse dagen in maart en april 21) tot 170 mg/l (29-1-21).

De microplastics concentraties in het zwevend stof van beide periodes zijn ondanks sterk verschillende omgevingscondities echter gelijk aan elkaar: de som van 8 gemeten microplastics concentraties (g/kg) in Eijsden is 1,8 g/kg, met een spreiding (RSD) van 4% (n=2). Zie Tabel 3 of Figuur 3.

Is er verschil in de gemiddelde microplastics concentraties tussen Lobith, Eijsden en een havenbekken in Rotterdam?

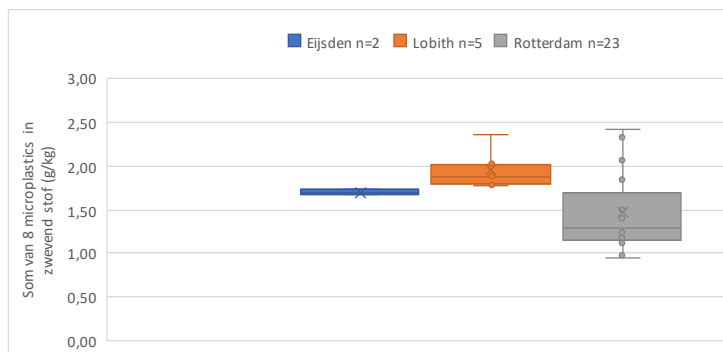
De som van 8 microplastics concentraties (g/kg) in Lobith is 2,0 g/kg (RSD: 13%, n=5). De microplastic gehalten in zwevend stof uit Eijsden (1,8 g/kg, RSD: 4%, n=2) en uit Rotterdam (1,5 g/kg, RSD: 30%, n=23) verschillen – ondanks de grote onderlinge afstand en de verschillende stroomgebieden – weinig van elkaar, zoals weergegeven in Figuur 4.

Het gemiddelde van de gemeten microplastics concentraties is in Rotterdam 25% lager dan in Lobith. Maar in Rotterdam is er (bewust) in een haven(bekken) aan de Nieuwe Maas bemonsterd, in plaats van in de rivier. Weliswaar staat de haven in open verbinding met de rivier, maar de dynamiek lijkt veel statischer nabij de kade/dok(muur) in de haven dan in de rivier.

Bruikbaarheid analyseresultaten voor monitoring

Als monsternamen en analyse een kleine bijdrage leveren aan de spreiding van de analyseresultaten van monsters genomen gedurende een jaar op verschillende locaties, dan zijn er minder analyses nodig om trends in tijd en ruimte te ontdekken. Dit is daarom onderzocht.

Figuur 3 Microplastics concentraties in zwevend stof, zie ook Tabel 8 in Bijlage



In Tabel 8 (bijlage) en Figuur 4 is te zien dat variatie in de tijd (RSD) van een gemeten som van microplastics concentraties in zwevend stof bemonsterd in Lobith (2,0 g/kg, RSD 13%), Rotterdam (1,5 g/kg, RSD 30%) en Eijsden (1,8 g/kg, RSD 4%) dicht bij elkaar liggen. De spreiding in deze monitoringsresultaten (RSD < 30%) is opmerkelijk laag, als je je realiseert dat deze is samengesteld uit variaties veroorzaakt door monsternamen, analyse en de natuurlijke variatie van zwevend stof/microplastics in oppervlaktewater. Met andere woorden: dankzij een goede reproduceerbaarheid van monsternamen en analyse kan met een beperkt aantal monsters worden aangetoond dat de variatie van microplastics in zwevend stof op deze locaties klein is in tijd en ruimte.

Als de bijdrage van monsternamen en analyse aan de variatie in meetresultaten klein is, dan zijn meetresultaten waarschijnlijk ook goed bruikbaar om relaties met emissiebronnen te onderzoeken. Dat is te illustreren aan de hand van twee diffuse emissieoorzaken voor microplastics in zwevend stof: verpakkingsmateriaal (PE) en autobandenslijtage (SBR en NR).

De belangrijkste emissieoorzaak van rubbers in zwevend stof is autobandenslijtage. Autobanden bestaan uit SBR (banden van personenauto's) en NR (vrachtwagen banden). Omdat er veel meer personenauto's dan vrachtwagens zijn, is de verhouding van SBR:NR in autobandenslijtage ongeveer 10:1. In afwezigheid van NR of SBR puntbronnen in de buurt van het monsternamenpunt is het erg onwaarschijnlijk dat er op een locatie meer NR dan SBR gemeten wordt gemeten, omdat de emissie van SBR zo veel groter is dan van NR. De grootste belasting van autobandenslijtage (zowel van personenauto's als vrachtauto's) is te verwachten via de routes van atmosferische depositie en afspoelend wegwater als gevolg van productie van deze rubber deeltjes vanuit vele diffuse bronnen, die

Tabel 3 Microplastics concentraties (g/kg droog zwevend stof) in Eijsden (gemiddeld debiet tijdens monsternamen), na tijd geïntegreerde bemonstering met een sedimentkist.

Start	Eind	PE	RSD	SBR	RSD	Σ8mp	RSD
13-01-21 (950 m ³ /s)	10-02-21	1,5	5%	0,14	42%	1,7	4%
10-03-21 (530 m ³ /s)	07-04-21	1,4		0,26		1,8	

als resultante diffuse belasting opleveren over groot ruimtelijk gebied. In het geval van zwevend stof uit Rotterdam, Lobith en Eijsden blijkt de ruimtelijke spreiding van de gemeten rubber concentraties zelfs zo klein, dat de laagst gemeten SBR concentratie van alle locaties hoger is dan de hoogst gemeten NR concentratie van alle locaties (Figuur 4).

Volgens het RIVM zijn de te verwachten emissies voor plastic verpakkingsmateriaal circa 10 keer zo groot als voor de op 1 na grootste emissiebron (autobandenslijpsel). PE wordt in grote hoeveelheden geproduceerd en veel toegepast in onder meer eenmalige verpakkingen en folies. De belangrijkste eindgebruikers zijn huishoudens en deel van verbruik vind plaats in de openbare ruimte en levert hiermee ook diffuse emissies en belasting op naar water. De laagst gemeten concentratie van PE in alle gemeten zwevend stof monsters uit Lobith, Eijsden en Rotterdam is hoger dan de hoogst gemeten concentratie van alle andere gemeten plastics en rubbers (Figuur 5).

De meetonzekerheid van de microplastics concentraties in zwevend stof is zodanig klein dat diverse relaties onderzocht kunnen worden. Maar dat wil nog niet zeggen dat er altijd een direct relatie is tussen geproduceerde hoeveelheden plastics en de hoeveelheden microplastics in het milieu. Op basis van de verhouding van de geproduceerde hoeveelheden PE en PP, zou je hogere concentraties PP verwachten in zwevend stof dan nu is gemeten. Het PP heeft echter andere materiaal eigenschappen, zoals de afbreekbaarheid.

Bij de detectie (identificatie) van microplastics bestaat altijd de mogelijkheid dat het signaal gestoord wordt door andere stoffen die in het milieu voorkomen. Bij de analyse van PE kan de detectie gestoord worden door verbindingen die grote structurele overeenkomst vertonen met de bouwstenen van PE. Uit de literatuur is bekend dat dit het geval kan zijn bij bijvoorbeeld eikenbladeren en dennennaalden (Maria Kittner, 2022) (G. Dierkes, 2019). RWS onderzoekt daarom als onderdeel van de validatie of en in welke mate dit probleem optreedt bij microplastics analyses van PE in milieumonsters.

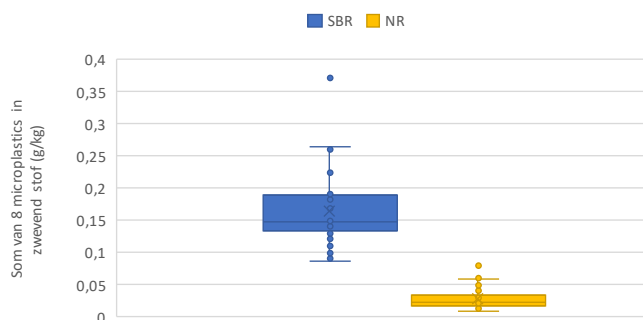
Indicatieve benadering van microplastics vrachten in Rijn en Maas

Voor MWTL worden het debiet en de zwevend stof gehalten van Rijn, Maas en Schelde gemeten. In combinatie met de in Lobith en Eijsden gemeten microplastics concentraties kan hiermee een ruwe schatting gemaakt worden van de vracht microplastics die dagelijks of jaarlijks Nederland binnenkomt via de rivieren, zie Tabel 4. De betrouwbaarheid van deze ruwe schatting wordt vooral bepaald door kennis van verspreiding van zwevende stof over gehele doorsnede (breedte x diepte) van rivier tijdens laagwater omstandigheden, gemiddelde afvoer en, vooral, hoogwater. Tijdens hoogwater ontstaan er omstandigheden dat veel zwevende stof en een deel van de bovenste lagen van de waterbodem in hogere lagen van de waterkolom terecht komen. Mogelijk worden de metingen van microplastics in zwevende stof hierdoor beïnvloed.

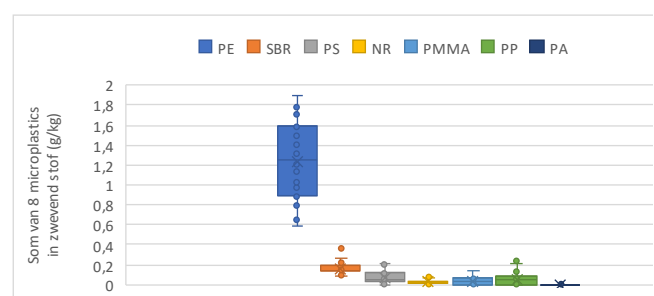
Tabel 4 Ruwe schatting van microplastics vrachten in Rijn en Maas

	Rijn	Maas	
Debiet	2350	230	m ³ /s
	2,0*10 ⁸	2,0*10 ⁷	m ³ /dag
	7,4*10 ¹⁰	7,3*10 ⁹	m ³ /jr
Zwevend stof	20	15	mg/l (=g/m ³)
	4,1*10 ⁶	3,0*10 ⁵	kg/dag
	1,5*10 ⁹	1,1*10 ⁸	kg/jr
Microplastics conc.	2,0	1,8	g/kg
Vracht microplastics	8,2*10 ³	5,4*10 ²	kg/dag
	3,0*10 ⁶	2,0*10 ⁵	kg/jr

Figuur 4 Rubber concentraties (g/kg) in zwevend stof. Zie ook Tabel 8 in bijlage .



Figuur 5 Microplastics concentraties (g/kg) in zwevend stof. Zie ook Tabel 8 in bijlage .



In deze ruwe schatting zijn de bijdrages van eventuele drijvende microplastic niet meegenomen. Ook een eventuele invloed van de verdeling van microplastics over de breedte en diepte van de rivier, is buiten beschouwing gelaten.

Omdat het benedenstroomse delen van de Rijn en Maas in Nederland zich vertakken en deels samenvoegen voordat ze in zee stromen, en omdat er aan de kust sprake is van eb en vloed, zoute invloed en daarnaast veel sterkere wind, is een schatting van microplastics vrachten naar zee ingewikkelder dan voor Lobith of Eijsden. Een deel van het zwevend stof (inclusief de microplastics) zal bijvoorbeeld sedimenteren in bijvoorbeeld het IJsselmeer en het Haringvliet, omdat het water daar regelmatig stilstaat. Daarom maken we in dit rapport geen ruwe schatting van de vracht microplastics die naar zee stroomt.

3.2 Microplastics op rivieroeveren van slikken en schorren in Zeeland

Microplastics die door een rivier worden meegevoerd, gaan niet allemaal naar zee. Een deel van de microplastics komt op de rivierbodem, op de uiterwaarden of oeveren van de rivier terecht. Op veel plaatsen langs rivieren worden zichtbare plastic korrels gevonden. Deze korrels (pre-production pellets als primaire microplastics) zijn vaak afkomstig uit de industrie, waar ze als grondstof worden gebruikt om plastic producten van te maken en ook veelvuldig vanuit verliezen bij op/overslag van deze plastic korrels. Deze microplastics worden “nurdles”, “granulaat” of “pellets” genoemd. Ze zijn met een diameter van een paar mm, uitzonderlijk groot voor een microplastic. Pellets/nurdles/granulaat worden op sommige plaatsen langs een rivier in hoge aantallen gevonden.

In de Westerschelde heeft RWS Zee en Delta op 10 locaties steekmonsters (8 cm diep) laten nemen van rivieroeveren: schorren en slikken. Op 3 locaties zijn zowel de hoger gelegen schorren (die incidenteel onder water komen te staan) als de slikken (die door eb en vloed 2 keer per dag onder water komen te staan) bemonsterd (zie Figuur 6).

Op rivieroeveren en stranden spoelen op sommige plaatsen zichtbare microplastics aan. Er worden met het blote oog microplastics gevonden op het hoogste punt waarop het water heeft gestaan / de vloedlijn (zie ook: Figuur 2).

Als een monster meer zichtbare microplastics bevat, zullen de microplastics concentraties veel hoger zijn dan die van zwevend stof, dat vrijwel geen zichtbare microplastics bevat. In de monsters die RWS heeft genomen op de oeveren (schorren en slikken in de Westerschelde), zijn geen hogere concentraties microplastics gevonden. Mogelijk dat na gerichte bemonstering op de vloedlijn hogere microplastics concentraties worden gevonden, dan op de schorren en slikken waar RWS heeft bemonsterd.

Figuur 6 Locaties van de bemonsterde schorren en slikken in de Westerschelde



De meetresultaten, monsternamedata en coördinaten van de monsternamelocaties van de bemonsterde schorren en slikken, staan in Tabel 9, bijlage. Als eerste valt op, dat de gevonden concentraties in de sedimenten (gemiddeld 1,2 g/kg voor de som van 8 microplastics) in dezelfde ordegrootte liggen, als de zwevend stof monsters (gemiddeld 1,6 g/kg) die we tot nu toe hebben gemeten. Er zijn dan ook geen aanwijzingen dat de microplastics op de slikken zouden ophopen. Sterker nog: op vier van de 10 locaties (waaronder Terneuzen, Hoogeplaten en Rammekens: locaties 8, 9 en 10 in Figuur 6) werden bijna geen microplastics aangetroffen (concentraties < 0,5 g/kg voor de som van 8 microplastics gemeten, opvallend is dat op deze locaties de concentratie PE laag is: tussen 0,14 en 0,30 g/kg). Mogelijk is dat, omdat deze slikken elke vloed schoon gespoeld worden door zeewater.

Welke microplastics zijn er te vinden?

Vier microplastics (PE, SBR, PP en NR) zijn bijna altijd aanwezig op rivieroeveren van schorren en slikken in de Westerschelde. Op 3 van de 10 oeverlocaties werd concentraties PA aangetoond. Ten opzichte van de zwevend stof analyses in Rotterdam, Lobith en Eijsden valt het op dat op de schorren en slikken maar op 2 van de 10 locaties polystyreen wordt gemeten, terwijl polystyreen in het zwevend stof van Rotterdam, Lobith en Eijsden bijna altijd wordt aangetroffen (28 van de 30 monsters). PMMA en PET werden niet aangetoond in de oevermonsters.

Welke concentraties microplastics komen er voor?

Vier microplastics (PE, SBR, PP en NR) zijn bijna altijd aanwezig. Deze 4 microplastics vormen >99% van de som van de 8 gemeten microplastics concentraties (gemiddeld 1,2 g/kg, min: 0,2 g/kg en max: 2,5 g/kg), waarbij PE (86%) en SBR (7%) verreweg de grootste bijdrage leveren. Sommige oever locaties vallen op door lagere microplastics concentraties. Hierdoor is de variatie in microplastics concentraties (factor 16, RSD= 75%) groter dan in zwevend stof (Lobith, Eijsden en Rotterdam: factor 1,4, RSD=28%), terwijl de bemonsterde schorren en slikken (in Westerschelde) veel dichter bij elkaar liggen dan Lobith en Rotterdam (in Rijnstroomgebied). PP en NR werden in lage concentraties aangetoond op 9 van de 10 locaties.

3.3 Microplastics in sediment (rivierbodem)

Er zijn door RWS in 2021 17 sediment monsters genomen, op 16 locaties. Meetresultaten voor microplastics, monsternamedata en de coördinaten van de monstername locaties staan in Tabel 10 in bijlage. De locaties van 12 bemonsteringslocaties in de rivieren-delta, zijn weergegeven in Figuur 7.

Figuur 7 Monstername locaties voor microplastics in sediment in de Delta 2021



Welke microplastics zijn in sediment aangetoond

PE en SBR zijn in alle sedimenten aangetoond. In 88% (PP), 53% (NR en PS) en 35% (PA) van de geanalyseerde sedimenten werden lage concentraties van deze microplastics aangetoond. PMMA en PET werden niet aangetoond in sediment.

Microplastics concentraties in sediment

In tegenstelling tot de gemeten microplastics concentraties in zwevend stof, verschillen microplastics concentraties in sediment wel duidelijk per locatie (tot een factor 125). Met name locaties met lagere microplastics concentraties in sediment van meetlocaties vlak bij de kust (Noordwijk, Hoek van Holland) vallen op. In de 17 geanalyseerde sediment monsters ligt de som van de 8 gemeten microplastics concentraties tussen 0,03 en 3,8 g/kg (gemiddeld: 1,1 g/kg). PE en SBR dragen samen voor 90% bij aan de gesommeerde microplastics concentraties.

3.4 Deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof en microplastics

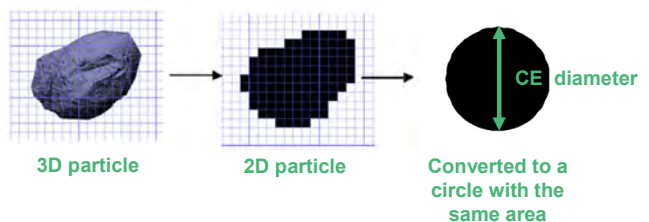
Als bij een bemonsteringsmethode de grote (mm) of kleine (μm) zwevend stof deeltjes niet worden bemonsterd, dan ontbreken ook de microplastics van die grootte in het monster voor de microplastics analyse. Daarnaast kunnen tijdens de monstervoorbehandeling microplastics verloren gaan voor de analyse.

Het uitgangspunt van RWS bij de keuze van de bemonsterings- en analysemethode, is dat die toepasbaar is voor zwevend stof (en dus: microplastics) van $1 \mu\text{m}$ tot 5mm , omdat dit deeltjesgroottebereik overeenkomt met de definitie van microplastics.

Om te onderzoeken welke deeltjesgroottes worden bemonsterd, is met behulp van microscopie de deeltjesgrootteverdeling van zwevend stof bepaald. De firma Sysmex heeft op verzoek van RWS met een microscoop, zowel bij een vergroting van $5\times$ (voor deeltjes met een straal van 5 tot $500 \mu\text{m}$) als een vergroting van $50\times$ (voor deeltjes met een straal van $0,5$ tot $100 \mu\text{m}$), de deeltjesgrootteverdelingen gemeten van 5 zwevend stof monsters, die met een sedimentkist zijn bemonsterd. Omdat zwevend stof deeltjes – en dus ook de microplastics – verschillende vormen hebben, worden alle deeltjes die met de microscoop zijn waargenomen, omgerekend naar een bolvormig deeltje, zoals weergegeven in Figuur 9.

Er zijn twee manieren om een deeltjesgrootteverdeling weer te geven:

Figuur 8 Omzetting van het volume van een onregelmatig gevormd deeltje naar een bol



- De deeltjesgrootteverdeling op basis van aantallen deeltjes (3.4.1) is belangrijk voor optische microplastics analyses, zoals FT-IR of Raman.
- Een deeltjesgrootteverdeling op basis van het volume van de deeltjes (3.4.2) is - omdat het volume van een deeltje evenredig is met de massa - belangrijk voor een microplastics analyse op basis van massa, zoals TED GC-MS.

3.4.1 Deeltjesgrootteverdeling van zwevend stof in aantallen deeltjes

Figuur 9 geeft de deeltjesgrootteverdeling weer van twee deelmonsters van zwevend stof, dat met een sedimentkist op 10cm diepte in Rotterdam is bemonsterd. De deeltjesgrootteverdelingen van beide deelmonsters komen goed overeen.

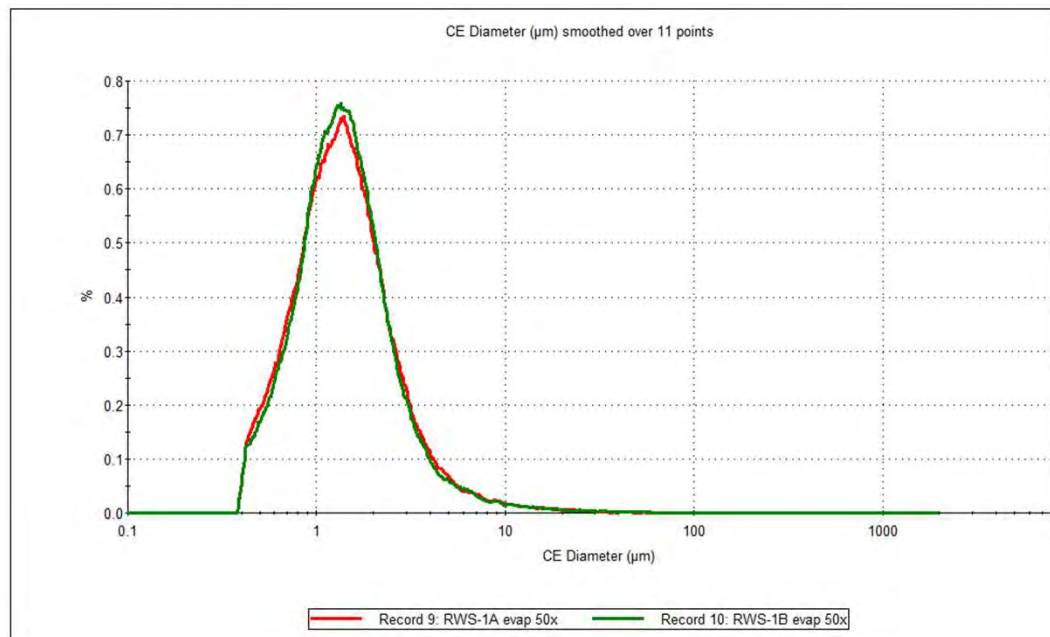
Opvallend is het grote aantal deeltjes met een diameter tussen $0,5 \mu\text{m}$ (de ondergrens van de methode) en $1 \mu\text{m}$. Mogelijk bevat deze fractie ook nanoplastics.

Het met een sedimentkist bemonsterde zwevend stof bevat hoogstwaarschijnlijk ook veel deeltjes kleiner dan $0,5 \mu\text{m}$. Maar die kleine zwevend stof deeltjes – en eventuele nanoplastics - hebben we niet apart kunnen meten.

In een sedimentkist zit geen fysieke barrière zoals een filter of zeef, zodat je zeker kan zijn dat alle deeltjes vanaf een bepaalde afmeting zijn bemonsterd. Daarom is het niet uit te sluiten dat bij bemonstering met een sedimentkist maar een deel van de kleinste deeltjes is bemonsterd. Het werkelijke aandeel van deeltjes kleiner dan $1 \mu\text{m}$ in zwevend stof uit oppervlaktewater is waarschijnlijk nog hoger

Figuur 9

Deeltjesgrootteverdelingen op basis van aantallen (60,000 deeltjes per deelmonster onder een 50x microscoop) van zwevend stof monster dat in Rotterdam is verzameld met een sedimentkist. Horizontaal is de diameter van de deeltjes weergegeven, verticaal is per diameter het relatieve aantal deeltjes (% van het totale aantal) geplot. zie ook Tabel 11 in Bijlage



dan in Figuur 9 is weergegeven.

Om zo goed mogelijk aan te sluiten op de definitie van de grootte van microplastics (1 µm tot 5 mm), is de meting van de deeltjesgrootteverdeling op basis van aantallen zowel uitgevoerd bij een vergroting van 50x (deeltjes van 0,5 tot 100 µm) als bij een vergroting van 5x (4,5 tot 500 µm). De combinatie van beide metingen is voor 5 monsters in Figuur 10 weergegeven:

De rode curve in Figuur 10 is gebaseerd op metingen van circa 50.000 deeltjes, de andere curves op minder dan 10.000 deeltjes, waardoor de signaal ruis verhouding en de betrouwbaarheid van de deeltjesgrootteverdeling van de rode curve beter is. Deze 5 metingen vertonen een overeenkomst qua deeltjesgrootteverdeling.

Uit deze metingen blijkt:

- Bij de verschillende monsternamelocaties en andere bemonsteringsperiodes, vertonen de deeltjesgrootteverdelingen grote overeenkomsten.
- Het maximum van de zwevend stof deeltjesgrootteverdeling (“de meest voorkomende deeltjesgrootte”: de top van de curve) heeft een diameter tussen 1,7 (Rotterdam, mei 2021) en 3,5 µm (Eijsden).
- Afhankelijk van de locatie is 10% van de zwevend stof deeltjes kleiner dan 1 (Rotterdam mei 2021 en Lobith augustus 2021) tot 1,3 µm (Eijsden) en groter dan 0,5 µm (de ondergrens van de analysemethode).
- Afhankelijk van de locatie is minder dan 10% van de deeltjes groter dan 8,8 (Rotterdam mei 2021) tot 20 µm (Eijsden)
- In zwevend stof uit Rotterdam, Lobith en Eijsden komen vrijwel geen deeltjes voor groter dan 0,3 mm.
- Als we in eerste instantie de kleinste 10% en de grootste 10% van de deeltjes buiten beschouwing laten voor een representatief monster, dan geldt:

- Voor representatieve bemonstering van zwevend stof voor een analyse van aantallen deeltjes zwevend stof (waaronder microplastics) op deze locaties is in ieder geval de fractie van 1 tot 20 µm belangrijk.

3.4.2 Deeltjesgrootteverdeling op basis van volume

Omdat het volume en de massa van een deeltje evenredig zijn met r^3 , weegt 1 deeltje met een diameter van 1 mm net zo veel als 1 miljard deeltjes met een diameter van 1 µm. Voor GC-MS metingen, waaronder de analyse methode die RWS gebruikt in dit project, is de deeltjesgrootteverdeling op basis van volume daarom belangrijker dan de deeltjesgrootteverdeling op basis van aantallen.

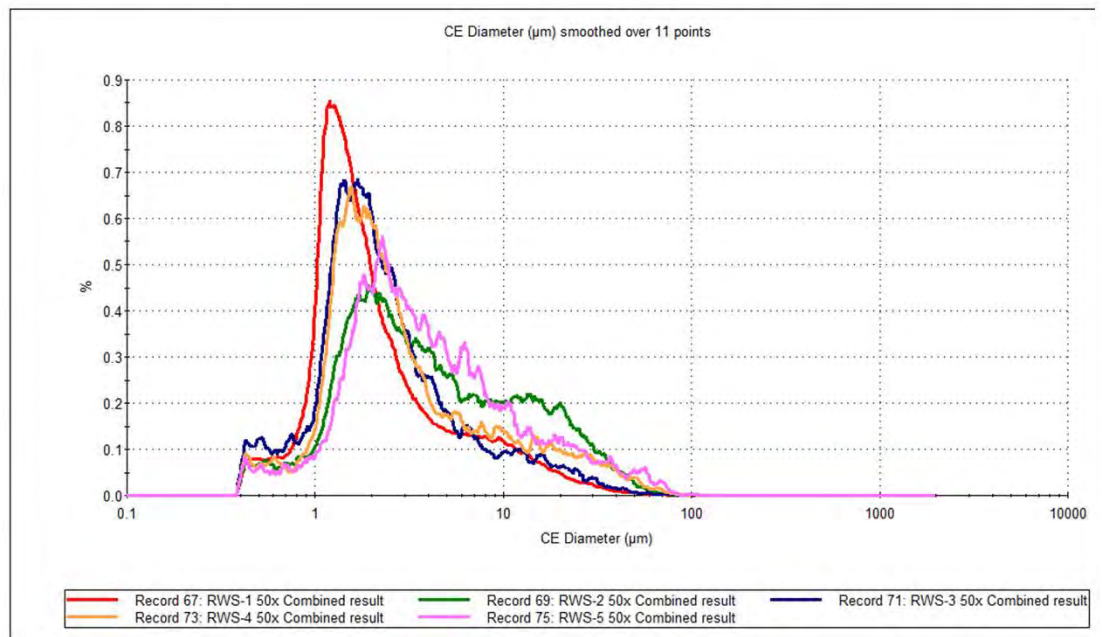
Figuur 11 toont de deeltjesgrootteverdeling op basis van volume, van dezelfde monsters als de deeltjesgrootteverdeling op basis van aantallen in Figuur 10. Omdat een groter deeltje meer bijdraagt aan het totale volume van alle deeltjes, ligt het maximum van de curves in Figuur 11 bij een grotere diameter dan het maximum van de curves in Figuur 10.

Voor de gemeten deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof uit Lobith, Eijsden en Rotterdam op basis van volume/massa (3.4.2) geldt:

- Ondanks verschillende monsternamelocaties en andere bemonsteringsperiodes, vertonen de deeltjesgrootteverdelingen grote overeenkomsten.
- Afhankelijk van tijdstip en locatie is meer dan 10% van de zwevend stof massa afkomstig van deeltjes kleiner dan 3,3 (Rotterdam mei 2021) tot 7,5 µm (Eijsden)
- Afhankelijk van tijdstip en locatie is 50% van de zwevend stof massa afkomstig van deeltjes kleiner dan 23 (Rotterdam mei 2021) tot 45 µm (Eijsden)

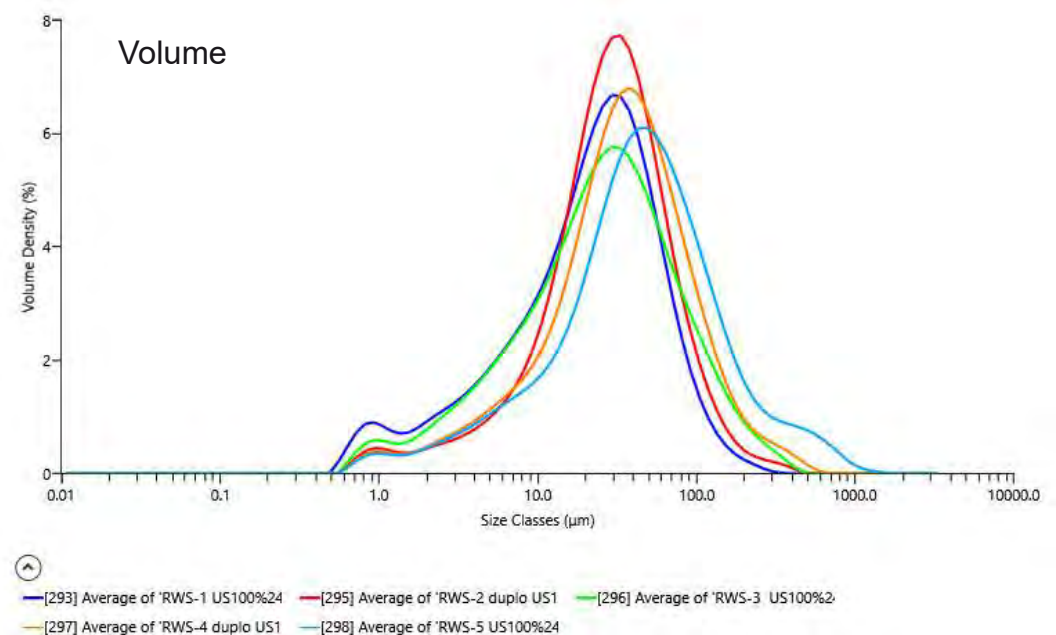
Figuur 10 Gecombineerde (5x en 50x) deeltjesgrootteverdeling van aantallen zwevend stof deeltjes met een diameter tussen 0,5 en 500 µm van zwevend stof bemonsterd met een sedimentkist in:

- Rotterdam, mei 2021 (67: rood) en maart 2021 (69: groen)
 - Lobith, augustus 2021 (71: groen) en december 2021 (73: bruin)
 - Eijsden, februari 2021 (75: roze)
- zie ook Tabel 12 in Bijlage



Figuur 11 Deeltjesgrootteverdeling (volume) van zwevend stof bemonsterd met een sedimentkist in:

- Rotterdam, mei 2021 (293: donkerblauw) en maart 2021 (295: rood)
 - Lobith, augustus 2021 (296: groen) en december 2021 (297: bruin)
 - Eijsden, februari 2021 (298: lichtblauw)
- zie ook Tabel 13 in Bijlage



- Afhankelijk van tijdstip en locatie is minder dan 10% van de zwevend stof massa afkomstig van deeltjes groter dan 66 (Rotterdam mei 2021) tot 176 µm (Eijsden)
- Als we in eerste instantie de kleinste 10% en de grootste 10% van de deeltjes buiten beschouwing laten voor een representatief monster, dan geldt:
- Voor een representatieve bemonstering van zwevend stof (waaronder microplastics) op deze locaties, is voor een massameting in ieder geval de fractie van 3 tot 176 µm belangrijk.

3.4.3 Microplastics deeltjesgrootteverdelingen

Voor fibers is de deeltjesgrootteverdeling van natuurlijk materiaal gelijk aan die van microplastics (A. Koelmans, 2022). Mogelijk geldt dat ook voor de andere vormen van microplastics. Weliswaar vormen microplastics een deel van het zwevend stof dat wordt bemonsterd, maar de deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof en van microplastics hoeven niet exact gelijk te zijn. Naar de deeltjesgrootteverdeling van microplastics in de zwevend stof fractie van 1 tot 1000 µm, wil RWS nog onderzoek uitvoeren.

3.5 Zichtbare (0,3 – 3 mm) microplastics in rivierwater

Uit de gemeten deeltjesgrootteverdelingen blijkt dat het in Rotterdam, Eijsden en Lobith bemonsterde zwevend stof maar een heel klein percentage deeltjes groter dan 0,3 mm bevat.

Dat beeld wordt bevestigd in de praktijk:

Na het vriesdrogen van het zwevend stof dat in Lobith en Eijsden in 28 dagen bij een pompsnelheid van 4 liter per minuut met een sedimentkist is bemonsterd (uit: 320 m³ oppervlaktewater), werden zelden zichtbare microplastics gevonden. Hetzelfde geldt voor het zwevend stof dat in Lobith en Eijsden met een doorstroomcentrifuge is bemonsterd. Er is weliswaar niet specifiek naar gezocht, maar een deeltje van 0,3mm valt duidelijk op tussen zwevend stof met een gemiddelde deeltjesgrootte van 2 µm.

Daarnaast zat er in Rotterdam in 4 van de 9 bemonsteringen met een zeefcascade na 2 weken bemonsteren met een pompsnelheid van 4 liter per minuut (dus: bemonstering van 80 m³ oppervlaktewater) geen zwevend stof in de 300 µm zeef.

De keren dat er wel materiaal in de 300 µm zeven zat, was de gemiddelde opbrengst van de 300 µm zeef bij bemonstering op 10 cm en op 80 cm diepte heel erg laag (~0,03 gram).

Figuur 12 Zwevend stof opbrengst op de grootste zeef (300 µm) van een cascade zeven, geplaatst achter een sedimentkist. Onafgebroken bemonstering gedurende 14 dagen bij een pompsnelheid van 4 liter per minuut op het RDM dok in Rotterdam. De witte stukjes zijn afkomstig van Teflon tape, gebruikt voor afdichting van de bemonsteringsopstelling.



Bij [bemonstering van microplastics met larven netten](#) (Collas, 2020) met een maaswijdte van 0,5 mm, vonden onderzoekers van de Radboud universiteit in samenwerking met RWS Oost Nederland in de Boven-Rijn, Waal en IJssel (op 3 verschillende dieptes) circa 1 microplastic per 5 m³ oppervlaktewater. Bij [bemonstering in de Elbe](#) (Christian Scherer, 2020) werden tussen 0,9 en 13 microplastics met een grootte tussen 0,15 en 5 mm per m³ oppervlaktewater bemonsterd met een larven net vlak onder het wateroppervlak. Rekening houdend met de verschillende maaswijdtes waarmee bemonsterd is (en de verschillende locaties en tijdstippen), bevestigen beide onderzoeken dat er heel weinig zichtbare microplastics in oppervlaktewater voorkomen.

De meeste gepubliceerde onderzoeken naar microplastics in oppervlaktewater zijn gebaseerd op bemonsteringsvolumes van minder dan 5 m³. [In de literatuur wordt 500 liter \(0,5 m³\) geadviseerd voor monsternamen voor microplastics tussen 0,3 mm en 5 mm in rivierwater \(Albert A. Koelmans, 2019\)](#). Maar bemonsteringen met een sedimentkist van 80 m³ (Rotterdam) of 160 m³ (Eijsden, Lobith) op dieptes tussen de 10 cm en 290 cm blijken onvoldoende zichtbare microplastics op te leveren om een zinnige uitspraak te doen over deze zichtbare microplastics in oppervlaktewater. Kortom: er zit heel weinig zwevend stof groter dan 0,3mm, en dus ook heel weinig microplastics groter dan 0,3mm, in het oppervlaktewater. Er zitten zo weinig zichtbare microplastics in het oppervlaktewater van Rijn en Maas, dat -zeker bij helder water - een bemonsteringsvolume van 80 m³ oppervlaktewater (waarschijnlijk zelfs 160 m³) te klein is om een uitspraak te kunnen doen over aantallen zichtbare microplastics in oppervlaktewater.

Mogelijk dat verder stroomopwaarts in Duitsland of in een kleinere rivier in Nederland, dicht bij een bedrijf dat pellets verwerkt, of tijdens extreme turbulentie of hoge concentraties zwevend stof in een rivier, een kleiner monsternamenvolume wel voldoende is om een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over aantallen zichtbare microplastics. Maar monitoring van zichtbare microplastics in oppervlaktewater in het Nederlandse stroomgebied van Rijn en Maas, met meer dan 50% van het jaar zwevend stof gehaltes van 5 g/m³ of minder, wordt problematisch. Simpelweg omdat er zo weinig van in het oppervlaktewater voorkomen, dat monsternamen van 80 m³ oppervlaktewater in veel gevallen geen bruikbaar analyseresultaat zal opleveren.

Uit RWS onderzoek blijkt dat er geen aanwijzingen zijn voor het zinken van zichtbare microplastics: microplastics concentraties in sediment zijn niet hoger dan in zwevend stof (Tabel 8 en Tabel 10). Aanvullend onderzoek is nodig om te bepalen of zichtbare microplastics voorkomen in een drijvende vorm, omdat drijvende microplastics zo groot zouden kunnen zijn dat ze een significante bijdrage aan eventuele vrachtberekeningen opleveren.

Het is waarschijnlijk dat de meeste zichtbare microplastics drijven (PE en SBR komen het meeste voor en zijn beide lichter dan water). Het is niet ondenkbaar dat deze microplastics snel aanspoelen op de oevers. Want daar zijn zichtbare microplastics makkelijk vinden, zo blijkt uit door de Plastic Soup Foundation gepubliceerd onderzoek (Plastic-Soup-Foundation, 2022).

4 Antwoord op 12 vragen over microplastics

Er is veel onbekend over het voorkomen en het gedrag van microplastics in rivieren. RWS gaat zowel voor de bemonstering als de analyse van microplastics uit van het volledige bereik van 1 µm tot 5 mm. In dit hoofdstuk geven we op basis van de guerrilla onderzoeken antwoord op 12 vragen over microplastics:

4.1 Wat is een representatief zwevend stof monster dat gebruikt zou kunnen worden voor een microplastics analyse?

- Voor een analyse van aantallen microplastics in oppervlaktewater (Lobith, Eijsden en Rotterdam), bepaalt de fractie van 1 tot 20 µm of het genomen zwevend stof monster representatief is voor het bemonsterde oppervlaktewater.
- Voor een analyse van de massa van microplastics in oppervlaktewater (Lobith, Eijsden en Rotterdam) bepaalt de fractie van 3 tot 176 µm of het bemonsterde zwevend stof representatief is voor het bemonsterde oppervlaktewater.

4.2 Welke microplastics zijn er in zwevend stof, sediment en rivieroevers te vinden?

Tabel 5 Aanwezigheid van individuele microplastics in zwevend stof, sediment en rivieroevers

% aangetoond:	>90%	>40 en <90 %	> 10 en <40%	Niet of <10%
Zwevend stof (n=30)	PE, SBR,PS, NR	PP, PMMA*	PA	PET
Oevers (n=10)	PE, SBR, PP, NR		PA, PS	PMMA, PET
Sediment (n=17)	PE, SBR	PP, PS, NR	PA	PMMA, PET

Relatief dicht bij de monsternameloctie in Rotterdam wordt PMMA verwerkt, waardoor 50% van de zwevend stof monsters uit Rotterdam PMMA bevatten

4.3 Hoe hoog zijn microplastics concentraties in zwevend stof, sediment en rivieroevers?

RWS beschouwt de microplastics concentraties in dit rapport als indicatief, omdat de validatie van de analysemethode nog niet is afgerond. De som van de concentraties van de 8 gemeten plastics in deze drie matrices bestond voornamelijk (87 tot 93%) uit PE en SBR.

Tabel 6 PE en SBR concentraties in zwevend stof, sediment en rivieroevers.

PE	Gemiddelde (g/kg)	Min (g/kg)	Max (g/kg)	Locaties
Zwevend stof (n=30)	1,2	0,6	1,9	3
Oevers (n=10)	1,0	0,1	2,1	10
Sediment (n=17)	0,9*	0,02	2,9	16
SBR				
Zwevend stof (n=30)	0,17	0,09	0,37	3
Oevers (n=10)	0,09**	0,006	0,22	10
Sediment (n=17)	0,11	0,001	0,28	16

Twee keer komt de gemiddelde concentratie niet overeen met de mediaan:

*mediaan PE in sediment = 0,6 g/kg

**mediaan SBR in oevers = 0,06 g/kg

4.4 Hoe veel variëren microplastics concentraties gedurende 8 maanden op 1 locatie?

De spreiding van microplastics concentraties over een periode van 8 maanden, waarin monsters zijn genomen in meerdere jaargetijden onder sterk wisselende omstandigheden (debiet en zwevend stof gehalten), is klein.

De som van 8 microplastics concentraties (g/kg) in Lobith is 2,0 g/kg, met een spreiding (RSD) van 13% RSD (n=5).

4.5 Is er verschil in de gemiddelde microplastics concentraties in zwevend stof tussen Lobith, Eijsden en Rotterdam?

Rekening houdend met de bijdrage van bemonstering en analyse aan de spreiding van de analyseresultaten, is er vooralsnog geen verschil tussen de gemiddelde microplastics concentraties in zwevend stof uit Lobith, Rotterdam (stroomgebied van de Rijn) en Eijsden (stroomgebied van de Maas).

4.6 Zijn microplastics concentraties in sediment of oevers hoger dan in zwevend stof?

Zowel de gemiddelde als de maximale concentraties van microplastics in sediment of oevers, komen overeen met de gemeten concentraties in zwevend stof.

Tabel 7 Microplastics concentraties in zwevend stof, sediment en oevers

Microplastics	Som (g/kg)	RSD	Min	Max	PE	SBR	N	Locaties
Zwevend stof	1,6	28%	1,0	2,4	76%	11%	30	3
Sediment	1,1	97%	0,03	3,8	79%	11%	17	16
Oevers	1,2	75%	0,15	2,5	86%	7%	10	10

4.7 Is het mogelijk om microplastics in zwevend stof voldoende nauwkeurig te bemonsteren en te meten voor een monitoringsprogramma?

De variatie van voor microplastics in zwevend stof in tijd en ruimte is voldoende klein om een trendanalyse of monitoringsprogramma mogelijk te maken. De laagste gemeten concentratie is drie keer lager dan de hoogste gemeten concentratie, terwijl de 30 geanalyseerde monsters onder extreem verschillende omstandigheden (debiet, zwevend stof concentraties, jaargetijde) zijn bemonsterd.

Voordat gestart kan worden met monitoring of trendanalyse, zullen bemonstering en analyse eerst gevalideerd moeten worden.

Het vooronderzoek voor bemonstering en analyse is beschreven in twee eerdere deelrapporten. De mogelijkheden voor monitoring en trendanalyse worden in het vierde deelrapport beschreven, dat naar verwachting eind 2023 verschijnt.

4.8 Is het mogelijk om microplastics in sediment of oevers voldoende nauwkeurig te bemonsteren en te meten voor een monitoringsprogramma?

Ondanks veel kleinere afstanden (minder variatie in hydrologische en meteorologische en omgevingscondities) tussen de monsternamelocties, verschillen microplastics concentraties in sediment een factor 16 (oevers) tot 127 (sediment). Voor sediment en oevers is daarnaast de variatie in microplastics concentraties in de tijd niet onderzocht. Zichtbare (>0,3mm) microplastics gedragen zich mogelijk meer als klein zwerfafval. Er is meer onderzoek nodig voor er een uitspraak gedaan kan worden over eventuele trendanalyse of monitoring van microplastics in sediment en oevers.

4.9 Welke vracht microplastics komt jaarlijks via Rijn en Maas het land in?

Via het oppervlaktewater van (~ 90%) Rijn en (~ 10%) Maas komt er -grof geschat – jaarlijks 3 miljoen kilo microplastics naar Nederland gebaseerd op gemiddeld gemeten concentratie microplastics (in zwevend stof) en gemiddelde concentratie zwevend stof over een periode van een jaar.. Drijvende microplastics zijn nog niet meegenomen in deze schatting. Omdat drijvende microplastics mogelijk een significante bijdrage aan een vracht kunnen leveren, is tijd geïntegreerde monstername van drijvende microplastics gewenst. Ook een eventuele invloed van diepte en plaats van bemonstering in de rivier is niet meegenomen in de schatting. Er is nog geen schatting mogelijk van de vracht microplastics die naar zee gaat.

4.10 Komen de microplastics van de rivieroevers terecht in het water, op de waterbodem of op de schorren en slikken?

Op rivieroevers van de Westerschelde gevonden microplastics zijn een deel van de zichtbare fractie (>300 µm) microplastics. In dit onderzoek is er geen aanwijzing gevonden dat deze in grote aantallen in het water komen. Dit kan echter worden bepaald door de wijze van monstername, voor het aantreffen van zichtbare microplastics moet een zeer groot volume worden bemonsterd. Er zitten zo weinig zichtbare microplastics in oppervlaktewater, dat zelfs een monsternamevolume van 80 m³ in veel gevallen te klein is om een representatief monster te nemen voor analyse van zichtbare microplastics. In waterbodem en rivieroevers zijn geen hogere microplastics concentraties gemeten. Microplastics op de vloedlijn van rivieren is mogelijk een lokaal zwerfafval probleem.

4.11 Waarom is er aanvullend onderzoek nodig naar drijvende microplastics?

Op rivieroevers worden regelmatig zichtbare microplastics zoals pellets aangetroffen. Onder het wateroppervlak in sediment zitten weinig van deze grote microplastics. Maar bij een vrachtberekening kunnen juist de drijvende microplastics een belangrijke bijdrage leveren, omdat de grootste microplastics veel zwaarder zijn dan de kleinste microplastics. Voor betrouwbare berekening van vrachten en voor de ontwikkeling van modellen van microplastics (project van RIVM) is het daarnaast belangrijk om te weten hoe snel drijvende microplastics op de oevers terechtkomen.

4.12 Komen er nanoplastics voor in Rijn en Maas?

Zwevend stof uit de Rijn en Maas bevatten – uitgedrukt in aantallen deeltjes – veel deeltjes kleiner dan 1 µm. Waarschijnlijk zitten daar ook nanoplastics bij. Maar betrouwbare monstername van nanoplastics is nog een belangrijke uitdaging die opgelost moet worden, voordat gemeten hoeveelheden nanoplastics kwantitatief gemonitord kunnen worden.

Bijlage: Data

Tabel 8 Microplastics in zwevend stof (g/kg drooggewicht)

Sample	Locatie	lab	Start	Duur (dagen)	Diepte (cm)	PE	PP	PET	SBR	NR	PS	PA	PMMA	Som	%PE	%PE SBR	%PE SBR PP	%PE SBR PP PS
kist winter 20/21 LW 1165 m3/s	Lobith	RWS	18-nov-20	28	10	1,9	0,06	ND	0,19	0,06	0,12	0,01	0,09	2,4	78%	86%	88%	93%
kist winter 20/21 HW 1850 m3/s	Lobith	RWS	16-dec-20	28	10	1,6	0,05	ND	0,19	0,03	0,09	ND	0,09	2,1	78%	87%	90%	94%
Eijs100221 950 m3/s	Eijsden	RWS	13-1-2021	28	10	1,5	0,03	ND	0,14	0,05	ND	ND	ND	1,7	87%	95%	97%	97%
K1.1 10_4 Gemiddeld	R'dam	RWS/BAM	23-feb-21	14	10	1,0	0,06	ND	0,15	0,03	0,07	0,02	ND	1,3	76%	87%	91%	96%
K2A.1 10_8	R'dam	BAM	23-feb-21	14	10	1,0	ND	ND	0,14	0,02	0,01	0,01	0,04	1,2	82%	93%	93%	94%
K3.1 10_4 Gemiddeld	R'dam	RWS/BAM	23-feb-21	14	10	0,9	0,05	ND	0,15	0,02	0,05	ND	0,11	1,3	70%	82%	86%	90%
K4.1 10_4	R'dam	BAM	23-feb-21	14	10	1,3	ND	ND	0,16	0,02	0,04	ND	0,03	1,5	84%	94%	94%	97%
K.1a.2 10_4	R'dam	BAM	9-mrt-21	14	10	1,6	0,20	ND	0,26	0,03	0,21	0,05	0,07	2,4	66%	77%	85%	94%
K.2a.2 10_2 Gemiddeld	R'dam	RWS/BAM	9-mrt-21	14	10	1,8	0,25	ND	0,22	0,02	0,12	ND	0,05	2,4	73%	82%	92%	97%
K.4.2 Gemiddeld	R'dam	RWS/BAM	9-mrt-21	14	50	0,9	0,09	ND	0,13	0,02	0,01	ND	ND	1,2	78%	89%	97%	98%
Eijs070421 530 m3/s	Eijsden	RWS	10-3-2021	28	10	1,4	0,04	ND	0,26	0,08	0,03	ND	ND	1,8	77%	92%	94%	96%
K.1a.3 10-4	R'dam	BAM	23-mrt-21	14	10	0,7	ND	ND	0,12	0,01	0,21	ND	0,04	1,0	63%	75%	75%	95%
K.2a.3 80-1 Gemiddeld	R'dam	RWS/BAM	23-mrt-21	14	80	0,6	0,03	ND	0,09	0,01	0,13	ND	0,11	1,0	62%	71%	74%	87%
K.3.3 80-4	R'dam	BAM	23-mrt-21	14	80	0,8	ND	ND	0,17	0,01	0,14	ND	0,05	1,2	69%	83%	83%	95%
K.4.3 80-2 Gemiddeld	R'dam	RWS/BAM	23-mrt-21	14	80	0,7	0,07	ND	0,14	0,03	0,11	ND	ND	1,0	65%	79%	86%	97%
K.1a.4 10-4 Gemiddeld	R'dam	RWS/BAM	6-apr-21	14	10	0,8	0,07	ND	0,12	0,02	0,06	ND	0,07	1,1	70%	81%	87%	92%
K.2a.4 80-4	'dam	BAM	6-apr-21	14	80	0,8	ND	ND	0,14	0,02	0,05	ND	0,05	1,1	76%	89%	89%	94%
K.3.4 10-1	R'dam	BAM	6-apr-21	14	10	1,0	ND	ND	0,14	0,02	0,06	ND	ND	1,2	82%	93%	93%	98%
K.4.4 10-2	R'dam	BAM	6-apr-21	14	10	0,9	ND	ND	0,18	0,02	0,06	ND	0,07	1,3	74%	88%	88%	93%
Lobo30521 1684m3/s	Lobith	RWS	7-4-2021	26	10	1,6	0,05	ND	0,10	0,04	0,02	ND	ND	1,8	88%	94%	97%	98%
K.1a.5 10-4	R'dam	BAM	20-apr-21	14	10	0,9	ND	ND	0,19	0,02	0,20	ND	0,07	1,4	65%	79%	79%	93%
K.2a.5 10-1 Gemiddeld	R'dam	RWS/BAM	20-apr-21	14	10	1,1	0,13	ND	0,19	0,02	0,09	ND	ND	1,6	73%	85%	93%	99%
K.4.5	R'dam	RWS	20-apr-21	14	80	1,2	0,10	ND	0,19	0,02	0,03	ND	ND	1,5	78%	90%	97%	99%
K.4.6	R'dam	RWS	18-5-2021	14	10	1,7	0,5	ND	0,37	0,04	ND	ND	ND	2,1	81%	98%	98%	98%
kist zomer 21 LW 2220m3/s	Lobith	RWS	2-jun-21	27	10	1,5	0,07	ND	0,15	0,04	0,02	0,01	0,14	1,9	78%	85%	89%	90%
kist zomer 21 HW 3800m3/s	Lobith	RWS	29-jun-21	29	10	1,4	0,06	ND	0,19	0,02	0,03	0,01	0,11	1,8	77%	87%	91%	92%
k.1a.1 290-4 Remi	R'dam	RWS	7-sep-21	14	290	1,8	0,09	ND	0,14	0,02	0,04	ND	ND	2,1	86%	93%	97%	99%
k.2a.1 10-4 Remi	R'dam	RWS	7-sep-21	14	10	1,5	0,15	ND	0,14	0,06	0,05	ND	ND	1,9	79%	86%	94%	97%
k.1a.2 290-4 Remi	R'dam	RWS	21-sep-21	14	290	1,4	ND	ND	0,09	0,03	0,01	ND	ND	1,5	92%	97%	97%	98%
k.2a.2 10-4 Remi	R'dam	RWS	21-sep-21	14	10	1,8	0,09	ND	0,11	0,03	0,06	ND	12,01	2,1	86%	91%	96%	99%

Microplastics concentraties in zwevend stof (g/kg drooggewicht) bemonsterd in

- Rotterdam na 14 dagen bemonsteren met een sedimentkist op het RDM dok (51.898162, 4.423301)
- Lobith
- Eijsden

Analyses uitgevoerd door BAM, Berlijn en RWS.

ND: Mogelijke aanwezigheid van microplastic niet bevestigd met GC-MS, of beneden de detectielimiet

Tabel 9 Microplastic concentratie rivieroevers in g/kg (schorren en slikken, zie Figuur 6 voor een kaart met de locaties)

Sample code	Locatie	x coördinaat	y coördinaat	Monsternamen datum	PE	PP	PET	SBR	NR	PS	PA	PMMA	Som	% PE	% PE SBR	%PE PP SBR
ZD1	Appelzak Slik	75313	377800	24-sep-22	1,4	0,12	ND	0,21	0,008	0,02	ND	ND	1,8	80%	92%	98%
ZD2	Bath Slik	72205	379846	24-sep-22	2,1	0,13	ND	0,22	0,009	0,02	ND	ND	2,5	85%	94%	99%
ZD3	Bath Schor	72291	380480	24-sep-22	2,0	0,11	ND	0,18	0,026	ND	0,01	ND	2,4	86%	94%	99%
ZD4	Waarde Schor	64877	380657	24-sep-22	1,3	0,03	ND	0,02	0,020	ND	ND	ND	1,4	95%	96%	99%
ZD5	Waarde Slik	65242	380131	24-sep-22	0,3	0,03	ND	0,06	0,006	ND	ND	ND	0,4	76%	91%	98%
ZD6	Baarland Schor	49683	379576	22-sep-22	1,4	0,11	ND	0,09	0,003	ND	0,01	ND	1,6	87%	93%	99%
ZD7	Baarland Slik	49622	379714	22-sep-22	1,0	0,06	ND	0,07	0,007	ND	0,01	ND	1,1	88%	94%	99%
ZD8	Hooge platen	33344	380580	14-sep-22	0,2	0,02	ND	0,01	0,003	ND	ND	ND	0,2	85%	91%	99%
ZD9	Rammekens Slik	34949	386559	22-okt-22	0,1	0,01	ND	0,01	ND	ND	ND	ND	0,2	91%	95%	100%
ZD10	Terneuzen Slik	48988	373178	23-sep-22	0,2	0,02	ND	0,02	0,003	ND	ND	ND	0,3	85%	91%	99%

ND: Mogelijke aanwezigheid van microplastic niet bevestigd met GC-MS, of beneden de detectielimiet

Tabel 10 Microplastics concentraties in sediment in g/kg droog gewicht. Zie Figuur 7 voor een kaart met de locaties.

Locatie:	X coördinaat	Y coördinaat	Monsternamen datum	NR	PA6/66	PE	PET	PMMA	PP	PS	SBR	Som	%PE	% PE SBR	%PE SBR PP	%PE PP SBR
10, Buiten delta haringvliet eb geul noord	-	-	22-9-2021	ND	0,007	1,0	ND	ND	0,08	ND	0,18	1,3	79%	93%	99%	98%
HARVTW20 Gemiddeld	65192	426075	29-9-2021	0,009	ND	2,9	ND	ND	0,55	0,07	0,28	3,8	76%	83%	90%	99%
HOOGVT1001 Gemiddeld	83901	429157	26-4-2021	0,009	0,006	1,8	ND	ND	0,09	ND	0,04	1,9	92%	95%	97%	99%
Gemiddelde HOLLMDN	97558	412835	12-4-2021	0,007	ND	1,3	ND	ND	0,46	0,09	0,28	2,1	60%	73%	82%	99%
5, Buiten delta haringvliet kwade hoek	77963	436026	21-9-2021	ND	ND	0,2	ND	ND	0,01	ND	0,02	0,2	82%	93%	100%	98%
OEVBWT1017-C	-	-	30-9-2021	0,001	ND	0,3	ND	ND	0,04	0,01	0,09	0,4	69%	89%	97%	99%
ZWIJNDT983	99700	424492	26-4-2021	0,003	0,006	0,5	ND	ND	0,03	ND	0,02	0,5	89%	93%	98%	99%
GATVVKPNOT	113720	418634	29-4-2021	0,003	ND	0,6	ND	ND	0,09	0,01	0,13	0,9	73%	88%	98%	99%
OPPDT982	109072	434293	28-4-2021	0,003	0,002	0,3	ND	ND	0,017	ND	0,019	0,31	87%	93%	98%	100%
Gemiddelde HOEKVHLD1028C	69461	442288	30-9-2021	ND	ND	0,04	ND	ND	0,005	ND	0,006	0,05	78%	89%	100%	99%
MOORDNNVGL	106432	445129	28-4-2021	0,0003	ND	0,07	ND	ND	0,011	0,002	0,013	0,10	73%	86%	98%	
HARVTW04	73547	423813	22-9-2021	ND	ND	0,02	ND	ND	0,003	ND	0,001	0,03	85%	89%	100%	
20220124_RDM1	51.898162	4.423301	6-12-2021	ND	0,013	1,6	ND	ND	0,13	0,02	0,20	1,9	82%	92%	98%	
20220124_RDM2	51.898162	4.423301	6-12-2021	0,01	ND	1,4	ND	ND	0,13	0,03	0,27	1,8	76%	91%	98%	
20220124_ Botlekaven	80679	434148	6-12-2021	ND	0,011	0,8	ND	ND	0,09	0,01	0,17	1,1	74%	89%	98%	
Kornwerderzand	152250	561270	23-2-2021	ND	ND	2,2	ND	ND	ND	0,03	0,14	2,3	93%	99%	99%	
Noordwijk	88271	475138	29-3-2021	ND	ND	0,02	ND	ND	ND	ND	0,008	0,03	74%	100%	100%	

ND: Mogelijke aanwezigheid van microplastic niet bevestigd met GC-MS, of beneden de detectielimiet

Tabel 11 Data behorend bij Figuur 9 Deeltjesgrootteverdelingen op basis van aantallen (60,000 deeltjes per deelmonster onder een 50x microscoop) van zwevend stof monster dat in Rotterdam is verzameld met een sedimentkist. Horizontaal is de diameter van de deeltjes weergegeven, verticaal is per diameter het relatieve aantal deeltjes (% van het totale aantal) geplot.

Sample	D (n;0,1) (µm)	D (n;0,5) (µm)	D (n;0,9) (µm)
Rotterdam 18/5/21 tot 1/6/21 (meting 1)	D[no,1] µm: 0.7	D[no,5] µm: 1.3	D[no,9] µm: 3.0
Rotterdam 18/5/21 tot 1/6/21 (meting 2)	D[no,1] µm: 0.7	D[no,5] µm: 1.3	D[no,9] µm: 2.9

Tabel 12 Data behorend bij Figuur 10 Gecombineerde (5x en 50x) deeltjesgrootteverdeling van aantallen zwevend stof deeltjes met een diameter tussen 0,5 en 500 µm van zwevend stof bemonsterd met een sedimentkist in:

- Rotterdam, mei 2021 (67: rood) en maart 2021 (69: groen)
- Lobith, augustus 2021 (71: groen) en december 2021 (73: bruin)
- Eijsden, februari 2021 (75: roze)

Sample	D (n;0,1) (µm)	D (n;0,5) (µm)	D (n;0,9) (µm)
Rotterdam 18/5/21 tot 1/6/21 ("RWS1")	D[no,1] µm: 1.0	D[no,5] µm: 1.7	D[no,9] µm: 8.3
Rotterdam 9/3/21 tot 23/3/21 ("RWS2")	D[no,1] µm: 1.2	D[no,5] µm: 3.5	D[no,9] µm: 19,7
Lobith 29/6/21 tot 28/7/21 ("RWS3")	D[no,1] µm: 1.0	D[no,5] µm: 2.0	D[no,9] µm: 8.8
Lobith 18/11/20 tot 16/12/20 ("RWS4")	D[no,1] µm: 1.1	D[no,5] µm: 2.3	D[no,9] µm: 15.3
Eijsden 13/1/21 tot 10/2/21 ("RWS5")	D[no,1] µm: 1.3	D[no,5] µm: 3.4	D[no,9] µm: 18.3

Tabel 13 Data behorend bij Figuur 11 Deeltjesgrootteverdeling (volume) van zwevend stof bemonsterd met een sedimentkist in:

- Rotterdam, mei 2021 (293: donkerblauw) en maart 2021 (295: rood)
- Lobith, augustus 2021 (296: groen) en december 2021 (297: bruin)
- Eijsden, februari 2021 (298: lichtblauw)

Sample	D (n;0,1) (µm)	D (n;0,5) (µm)	D (n;0,9) (µm)
Rotterdam 18/5/21 tot 1/6/21 ("RWS1")	3,32	22,9	66,0
Rotterdam 9/3/21 tot 23/3/21 ("RWS2")	7,36	29,0	79,3
Lobith 29/6/21 tot 28/7/21 ("RWS3")	4,29	25,9	98,7
Lobith 18/11/20 tot 16/12/20 ("RWS4")	6,90	34,6	111
Eijsden 13/1/21 tot 10/2/21 ("RWS5")	7,49	44,2	176

Verwijzingen

Bart Koelmans (2022). Risk assessment of microplastic particles. *Nature Reviews Materials*, 138-152.

Bart Koelmans (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, (pp. 410-422).

Bart Koelmans (2020). Presentatie "Wat doen microplastics" vanaf 15:11. Opgehaald van <https://zwerfafval.rijkswaterstaat.nl>: <https://zwerfafval.rijkswaterstaat.nl/monitoring/microplastics/risico/>

Christian Scherer (2020). Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large European river. *Science of The Total Environment*.

Dirk Schaeffer (2021). Numerical 3D Modelling of Hydrodynamics and Microplastic Transport in a section of the Rhine River. 6 IAHR Europe congress. Warsaw.

Frank Collas (2020). Plastic in de waterkolom van de Boven-Rijn, Waal en IJssel. *rapport*. Radboud universiteit.

Georg Dierkes (2019). Quantification of microplastics in environmental samples via pressurized liquid extraction and pyrolysis-gas chromatography. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 6959-6968.

Maria Kittner (2022, 6 24). Microplastics in the Danube River Basin: A First Comprehensive Screening with a Harmonized Analytical Approach. *ACS ES&T Water*, pp. 1174-1181.

Merel Kooi (2019, 6). Simplifying Microplastic via Continuous Probability Distributions for Size, Shape, and Density. *Environ. Sci. Technol. Lett.*, pp. 551-557.

Omnexus (2022, november 22). Opgehaald van <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/density>

Ospar. (sd). Ospar. Opgehaald van Ospar: <https://www.ospar.org/>

Plastic-Soup-Foundation (2022). *Rapport Plastic Soup Foundation, 2021, Westerschelde: plastic nurdles: Sources, transport, deposits*. Opgehaald van <https://www.plasticsoupfoundation.org/>: <https://www.plasticsoupfoundation.org/wp-content/uploads/2022/03/Westerschelde-plastic-nurdles-versie-definitief-21-11-2021-2.pdf>

Rochman, C. M. (2016, juni 6). Ecologically relevant data are policy-relevant data. *Science*, p. 1172.

RWS. (sd). MWTL. Opgehaald van Waterinfo: <https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/>

Sergio Caputi (2022, Juni 24). Microplastics Affect the Inflammation Pathway in Human Gingival Fibroblasts: A Study in the Adriatic Sea. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, p. 7782.

Steve Allen (2022, mei). Micro(nano)plastics sources, fate, and effects: What we know after ten years of research. *Journal of Hazardous Materials Advances*, p. 100057.

Dit is een uitgave van

RWS CIV, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en
Waterstaat

Juni 2023