



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Op weg naar microplastics monitoring in rivieren

Deel 1: Bemonstering

Samenvatting

In dit document wordt beschreven hoe Rijkswaterstaat de geschiktheid heeft getest van zwevend stof bemonsteringsmethodes voor monitoring van microplastics. Daarmee kan antwoord gegeven worden op vragen zoals:

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

Er zijn 3 mogelijk geschikte methodes (doorstroomcentrifuge, sedimentkist of filtercascade) geselecteerd, waarmee zwevend stof van 1 µm tot 5 mm bemonsterd kan worden. Een cascade van zeven is ongeschikt voor microplastics monitoring. Zelfs bij een cascade van 20 µm als fijnste zeef, is de cascade zo snel verstopt dat het niet mogelijk is om reproduceerbaar een representatief zwevend stof monster te nemen met een zeefcascade.

Omdat sedimentkisten door Duitse overheidsorganisaties zijn gebruikt voor continue (“tijd geïntegreerde”) bemonstering van zwevend stof in rivieren, is RWS gestart met het testen van sedimentkisten. Met name voor berekening van een nauwkeurige vracht is tijd geïntegreerde bemonstering mogelijk een belangrijk voordeel van de sedimentkist.

Sedimentkisten blijken geschikt om langdurig (2 weken tot een maand) zwevend stof van 0,5 µm en groter te bemonsteren, met een goede herhaalbaarheid (5% gemiddelde relatieve standaard deviatie), een reproduceerbare deeltjesgrootteverdeling en vergelijkbare plastics samenstelling. Zowel plastics als rubbers met een dichtheid groter als kleiner dan die van water worden bemonsterd. Het is mogelijk om langdurig zonder storings onder sterk verschillende omstandigheden met een sedimentkist te bemonsteren, waarbij er ook bij helder water voldoende zwevend stof wordt verzameld voor een microplastics analyse.

Weliswaar wordt zwevend stof van 1 µm en kleiner bemonsterd met een sedimentkist, maar van de kleinste deeltjes (< 1 mm) wordt slechts een deel bemonsterd (“slechte retentie”). De mate van verlies van de kleinste deeltjes tijdens bemonstering met een sedimentkist wordt in 2023 verder onderzocht.

Omdat de kleinste microplastics een geringe bijdrage leveren aan de massaconcentratie in zwevend stof, is de analysemethode die RWS gebruikt voor microplastics in de zoete wateren minder gevoelig voor verliezen van de kleinste deeltjes tijdens monsternamen ten opzichte van analyses die gebaseerd zijn op aantallen deeltjes. Microplastics analysesresultaten verkregen door te bemonsteren met een sedimentkist, zijn daarom onder voorbehoud bruikbaar voor trendmonitoring van microplastics concentraties (g/kg) en internationale rapportages, maar nog niet voor Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL). Het voorbehoud zit bij de afronding van de validatie van bemonstering en analyse en de afstemming / harmonisatie van deze methodes met Duitsland.

Tabel 1 geeft een overzicht van inschatting door RWS CIV ingeschatte voor- en nadelen van de verschillende bemonsteringsmethodes. Op dit moment is nog geen van de bemonsteringsmethodes van zwevend stof volledig gevalideerd voor microplastics monitoring.

De sedimentkist lijkt een geschikte kandidaat, maar mogelijk is monsternamen met een cascade van filters of een doorstroomcentrifuge voor RWS aantrekkelijker:

- Als het lukt om aan te tonen dat een doorstroomcentrifuge gelijkwaardige resultaten oplevert als tijd geïntegreerde bemonstering met een sedimentkist, dan is gebruik van een centrifuge voor RWS gunstiger. Zwevend stof wordt namelijk al door RWS wordt bemonsterd met een doorstroomcentrifuge voor het landelijke monitoringsprogramma (MWTL).
- Zowel bij bemonstering met een doorstroomcentrifuge als met een sedimentkist is er geen fysieke barrière die gegarandeerd de kleinste deeltjes tegenhoudt. Het is daarom waarschijnlijk dat de kleinste deeltjes in een met deze methodes genomen monster ondervertegenwoordigd zijn ten opzichte van het oorspronkelijke rivierwater. Uit de eerste testen in 2022 blijkt dat een cascade van filters minder snel verstopt raakt dan een cascade van zeven. Bemonstering met een cascade van filters werkt op basis van een

Tabel 1 Geschiktheid van verschillende bemonsteringsmethodes voor de bemonstering van zwevend stof (1 µm – 5mm) in rivieren voor een microplastics analyse (expert beoordeling door RWS CIV).

	Representativiteit						Robuustheid	
	1-100µm	0,1-5mm	Dichtheid	Retentie	RSD	Tijd	ZS5-500mg/l	Verstopping
Sedimentkist	+	+	+	--	++	++	+ / ++	++
Zeven	--	--	++	+	--	--	--	--
Filters	?	?	++	+	?	+/-	-	-
Centrifuge	+	+	+	?	?	-	++	++
Larvennet	--	++	++	+	+	?	?	-

fysieke barrière, waardoor er bij gebruik van een fijn filter (1 µm) geen verlies van de kleinste microplastics kan optreden tijdens de bemonstering. Door bemonstering met een cascade van filters te vergelijken met een doorstroomcentrifuge of een sedimentkist, zijn deze methodes in 2023 mogelijk ook te valideren voor de bemonstering van heel fijn zwevend stof.

Een cascade van zeven is ongeschikt voor de bemonstering van zwevend stof uit oppervlakte water ten behoeve van een monitoringsprogramma, onder andere omdat de 20 µm zeef al binnen tientallen minuten verstopt raakte en gelijktijdige monstername een slechte herhaalbaarheid vertoonde.

Naast onderzoek naar de prestaties van verschillende monsternamesystemen, zijn er ook korte, verkennende (“guerrilla”) onderzoeken uitgevoerd naar de samenstelling van het watersysteem. Zo is er gekeken naar deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof in Lobith, Eijsden en Rotterdam. De onderzoeken zijn uitgevoerd op meetstations van RWS in Lobith (aanvoer Rijn) en Eijsden (aanvoer Maas) en Rotterdam (zout en getij beïnvloed). De deeltjesgrootteverdelingen van het zwevend stof op deze locaties vertonen grote overeenkomsten. Afhankelijk van tijdstip en locatie is 90% van de zwevend stof massa afkomstig van deeltjes kleiner dan 66 (Rotterdam) tot 176 µm (Eijsden).

In het RDM dok in Rotterdam is onderzocht of de verdeling van microplastics varieert met de monsternamediepte. Microplastics blijken op deze locatie niet homogeen over de diepte van de waterkolom verdeeld: op grotere diepte bevinden zich meer microplastics. De concentratie van microplastics in zwevend stof verandert weliswaar niet significant tussen 10 cm en 290 cm diepte, maar de hoeveelheid zwevend stof (en dus de hoeveelheid microplastics) neemt wel toe met de diepte. Dit geldt zowel voor plastics die zwaarder als lichter zijn dan water. Voor (trend-)monitoring van microplastics concentraties is bemonstering op één diepte waarschijnlijk voldoende. Maar voor een vrachtberekening zal rekening gehouden moeten worden met de invloed van de monsternamediepte – als blijkt dat die per locatie verschilt.

Omdat grotere microplastics vaak op oevers worden aangetroffen, maar heel weinig in oppervlaktewater, is de verwachting dat relatief veel van de grotere microplastics, die een grote bijdrage aan de vracht leveren, in de drijfslag voor kunnen komen. Voor een nauwkeurige vrachtberekening is het mogelijk belangrijk om ook drijvende microplastics te bemonsteren, omdat de grootste microplastics een substantiële bijdrage aan de totale massa leveren. Maar er is vrijwel niets bekend over de hoeveelheid drijvende microplastics in rivieren. Het aanzuigpunt van de pomp wordt is voor het bemonsteren van zwevend stof minstens 10 cm onder het wateroppervlak geplaatst. Monsternames van drijvende microplastics op het wateroppervlak is niet gelukt met deze pompstelling, omdat de pomp bij bemonstering aan het wateroppervlak ongeschikt bleek voor het aanzuigen van grote hoeveelheden lucht. Mogelijk is bemonstering met een larvennet hiervoor een geschikt alternatief. Voor langdurige bemonstering van drijvend materiaal van 1 µm tot 5 mm in een rivier als de Rijn is waarschijnlijk nog veel

onderzoek nodig. Met name het voorkomen van verstopping is een uitdaging.

In een ander guerrilla onderzoek is een sedimentkist gebruikt voor bemonstering van influent en effluent van een afvalzuiveringsinstallatie (AWZI). Bemonstering van de influent langer dan een dag bleek problematisch vanwege de grote hoeveelheid zwevend stof.

In 2023 worden de bemonsteringsmethodes verder vergeleken, om daarna de gekozen methode te valideren voor de bemonstering van zwevend stof voor een microplastics analyse.

Inhoud

Samenvatting	2
1 Inleiding	5
2 Invloed van monstername op monitoringsdata	6
2.1 Hoe representatief is een monster?	6
2.2 Prestatiekenmerken van de bemonstering	9
2.3 Bijdrage van variatie door bemonstering aan de meetonzekerheid van monitoringsdata	10
3 Vraagstelling en gemaakte keuzes	11
4 Monstername van zwevend stof voor microplastics analyses	13
4.1 Bemonsteringsmethode	13
4.2 Representativiteit	15
4.2.1 Eventuele beschadiging microplastics door de pomp tijdens monstername	15
4.2.2 Hoeveelheid bemonsterd zwevend stof: Herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid	15
4.2.3 De samenstelling van bemonsterde zwevend stof	16
4.2.4 Samenstelling: Sedimentkist vs. Doorstroomcentrifuge	17
4.2.5 Retentie: Welk deel van het zwevend stof blijft in een sedimentkist achter?	18
5 Samenstelling van het watersysteem	22
5.1 Deeltjesgrootteverdeling van het bemonsterde zwevend stof	22
5.2 Invloed van de bemonsteringsdiepte	24
5.2.1 Hoeveelheid zwevend stof vs. bemonsteringsdiepte	24
5.2.2 Microplastics concentraties vs. bemonsteringsdiepte	24
5.2.3 Absolute hoeveelheid microplastics vs. diepte	25
5.2.4 Drijvende microplastics	25
5.3 Bemonstering van afvalwaterzuiveringsinstallaties	25
6 Conclusie	27
Bijlagen	
Bijlage 1: Experimentele gegevens	28
Bijlage 2: Deeltjesgrootteverdelingen van bemonsterd zwevend stof en van microplastics	44
Verwijzingen	46

1 Inleiding

Voor het programma Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL, (Rijkswaterstaat, n.d.)) zijn in de zoete en zoute Nederlandse Rijkswateren morfologische, waterkwantiteit-, chemische, biologische (inclusief zwemwater) en afval- meetnetten ingericht. Data van MWTL worden gebruikt voor:

- operationeel waterbeheer
- trendbepaling
- toetsing aan normen
- leveren van (inter-)nationale rapportages, waaronder vrachtberekeningen.

Op 4 juni 2018 is de Tweede Kamer geïnformeerd over een beleidsprogramma voor microplastics, met als doel verdere vervuiling van rivieren, zeeën en oceanen door bronnen van microplastics te voorkomen. Microplastics - gedefinieerd als alle plastic en rubber deeltjes van 1 µm tot 5 mm - worden in MWTL nog niet gemonitord. Het beleidsprogramma voor microplastics omvat meerdere actielijnen, van plastic afvalpreventie tot microplastic monitoring in de zoete wateren.

Bemonstering van zwevend stof kan voor de gehele waterkolom een betrouwbaar beeld geven van de hoeveelheden aan microplastics in een rivier. Voor microplastics monitoring in de zoete wateren was het doel om voor 1 januari 2023 een concrete microplastics monitoringopzet (inclusief bemonstering, analyse en modelstudies) te maken voor microplastics in de rivieren waarmee:

1. zwevend stof van 1 µm tot 5 mm in oppervlaktewater wordt bemonsterd. Zwevend stof is geschikt voor een betrouwbare bepaling van microplastics in de waterkolom.
2. microplastics in zwevend stof geïdentificeerd worden
3. individuele microplastics concentraties in zwevend stof (g/kg) gekwantificeerd worden
4. op basis van deze resultaten de vrachten microplastics die via de rivieren Nederland inkomen en die vanuit de rivieren in zee terecht komen, berekend kunnen worden
5. met behulp van modellering op basis van de monitoringsresultaten een beeld gegeven kan worden van hoe de vracht aan microplastics zich in het Rijn en Maasstroomgebied ontwikkelt

RWS voert in het kader van KRM en het Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan (OSPAR, n.d.) onderzoek uit naar microplastics in de zoute wateren. Vraagstelling, strategie, bemonstering en analyse van microplastics in de zoute wateren vallen buiten het bereik van dit rapport.

Het RWS onderzoek naar microplastics monitoring wordt beschreven in vier deelrapporten. In dit - eerste - deelrapport wordt beschreven hoe RWS de bemonstering van zwevend stof voor de monitoring van microplastics concentraties in oppervlaktewater heeft onderzocht. De andere drie deelrapporten zijn gericht op:

- microplastics analyse met TED GC-MS (thermal extraction desorption-gas chromatography/mass spectrometry) (deel 2)
- pilot studie naar microplastics concentraties in oppervlaktewater (zwevend stof), waterbodembodem en rivieroevers (deel 3)
- advies voor microplastics monitoring in MWTL (deel 4)

Er is weinig bekend over de invloed van plaats, tijdstip en wijze van monsternamen op gemeten microplastics concentraties. Er is op meerdere locaties tijdens verschillende seizoenen bemonsterd. De deeltjesgrootteverdeling van zwevend stof op verschillende locaties is onderzocht. Ook is een korte studie uitgevoerd naar de invloed van monsternamediepte, inclusief een (mislukte) poging om drijvende microplastics te bemonsteren. Tenslotte is monsternamen van huishoudelijk afvalwater kort onderzocht.

2 Invloed van monstername op monitoringsdata

Het proces van microplastics monitoring kan worden opgedeeld in een keten van vier opeenvolgende stappen, die onderdeel zijn van de monitoringcyclus:

- Bemonstering
- Analyse
- Data-evaluatie
- Modelleren en vrachtberekening

De zwakste schakel van deze keten bepaalt de bruikbaarheid van monitoringsdata voor beleid en beheer. Nauwkeurigheid en herleidbaarheid van de gegevens over de hele keten, bepalen uiteindelijk of het mogelijk is om met verkregen gegevens antwoord te geven op beleidsvragen (“de informatiebehoefte”).

Dit hoofdstuk beschrijft de invloed van bemonstering op de betrouwbaarheid van microplastic monitoringsgegevens.

2.1 Hoe representatief is een monster?

Het risico dat monstername, met name het effect van een niet representatief monster, er toe leidt dat onderzoekers verkeerde conclusies trekken, wordt vaak onderschat.

Twee broers vangen met een schepnetje kikkervisjes uit een sloot. De eerste broer vangt op een ochtend 50 kikkervisjes. In 1 keer scheppen! Hij rent naar huis, deelt het volume van de sloot door het volume van zijn netje. En vermenigvuldigt dat met 50. Dat is schrikken. Miljoenen kikkervisjes in zo'n kleine sloot! Hij is bang voor acuut zuurstofgebrek. Zijn broer rent – inmiddels een half uur later – naar dezelfde sloot. Hij vangt geen enkel kikkervisje. Zelfs niet na 3 keer scheppen. Zijn ze allemaal gestikt?

Waarschijnlijk hadden de broers betere conclusies getrokken, als ze zichzelf vragen gesteld zouden hebben, zoals:

- is de verspreiding van de kikkervisjes in de sloot constant, of niet?
- schepten ze allebei op dezelfde diepte?
- hadden de schepnetjes dezelfde maaswijdte?
- hoe veel kikkervisjes moeten ze vangen, voor een realistisch beeld van de sloot?
- Zijn er voldoende gegevens verzameld om tot betrouwbare conclusies te komen?

- kortom: met welke methode, welke middelen, hoe vaak, waar en hoe diep moeten ze bemonsteren, zodat de genomen monsters voldoende representatief zijn om iets zinnigs te zeggen over hun sloot?

Ook bij microplastics hebben frequentie, plaats, tijdstip en manier van monstername (methode, hoeveelheid) enorme invloed op het eindresultaat. Toch wordt zelden onderzocht of onderbouwd welke bijdrage monstername levert aan de uiteindelijke meetonzekerheid. Een check of er voldoende data zijn verzameld om betrouwbare conclusies te kunnen trekken, ontbreekt meestal. In de volgende paragrafen worden belangrijke aandachtspunten voor het nemen van een representatief monster toegelicht.

Waar ga je bemonsteren?

Het is lastig te voorspellen hoe microplastics deeltjes zich verdelen over de lengte, breedte en diepte van een rivier. Microplastics deeltjes verschillen per definitie een factor 5000 in grootte: van 1 µm tot 5 mm. Ook de dichtheid van microplastics varieert van zwaarder dan water (zoals PET) tot lichter dan water (PE). Mogelijk verspreiden microplastics zich op een moeilijk te beschrijven wijze over een rivier, wat een slechte reproduceerbaarheid van de monstername en/of een niet representatief monster tot gevolg heeft. Berekeningen laten zien, dat grotere microplastics (vanaf tientallen micrometers lang) ongelijkmatig over een rivier verdeeld zijn, terwijl de kleinste microplastics (enkele micrometers lang) homogeen verdeeld zijn over de rivierwater (Dirk Schaefer, 2021).

De afstand van de plaats van bemonstering ten opzichte van een bron waar microplastics gevormd of geloosd worden, heeft invloed op de hoeveelheid microplastics die bemonsterd wordt. Hoe verder weg van de bron, des te minder microplastics van die bron worden bemonsterd. Rivieren vertonen vaak stromingsprofielen, waarbij de watersamenstelling kilometers over een grote afstand niet goed gemengd is in het water van de rivier. Dit is soms duidelijk te zien, waar (liefst: verschillend gekleurde) rivieren bij elkaar komen.

Voor trendmonitoring over een langere periode op een vaste locatie is het belangrijk om op een vaste plaats en een vaste diepte te bemonsteren (zoals: 10 meter van de oever, op 1 meter diepte, op een punt met vaste GPS coördinaten). De locatie voor het vaststellen van de vracht microplastics die via Rijn en Maas Nederland inkomen en uiteindelijk naar zee gaan, ligt voor de hand: zo dicht mogelijk

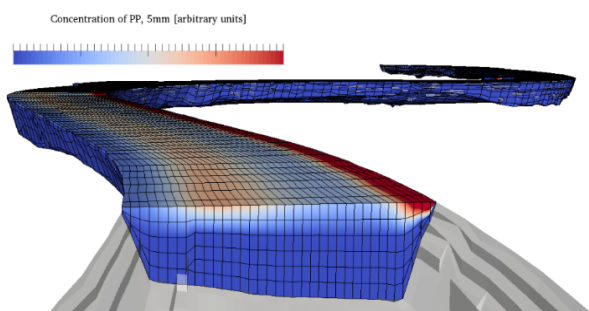
bij de grens of de zee. Voor MWTL bemonstert RWS in Lobith (Rijn) en Eijsden (Maas).

Een locatie kiezen voor monitoring landinwaarts (IJsselmeer, Haringvliet...) is om meerdere redenen gecompliceerder. Mogelijk is er een specifiek gebied waar uit lokale bronnen extreem veel (of weinig) microplastics in het water terechtkomen. Monitoring van een locatie vlak achter een belangrijke bron kan aantrekkelijk zijn, omdat het eenvoudiger is om daar relatief hoge microplastics concentraties nauwkeurig te meten. Maar waargenomen trends op dergelijke locaties zijn mogelijk zo specifiek, dat ze niet correleren met de trends op de reguliere monitoringslocaties. Interpretatie van meetresultaten afkomstig van meerdere locaties wordt extra lastig, als de locaties zijn gekozen met verschillende doelstellingen.

Een trend waarnemen over meerdere opeenvolgende punten in een rivier is nog moeilijker: Stel dat je overal op precies 10 meter uit de kant en 10 cm diepte bemonstert. Hoe en wanneer toon je - voordat je met monitoren begint - aan dat de stromingsprofielen van alle (verschillende types en groottes) microplastics op de gekozen locaties niet van elkaar verschillen? In hoeverre wordt dit nog beïnvloed door het moment van monstername?

Voor vrachtberekeningen is het noodzakelijk om de verdeling van de microplastics over de dwarsdoorsnede van de rivier te kennen. Dit is misschien mogelijk met een gevalideerd model dat de microplastics verdeling over de rivier simuleert. Een Duitse samenwerkingspartner Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) doet experimenteel onderzoek naar de verspreiding van microplastics over de dwarsdoorsnede van de Rijn, zie Figuur 1 (Dirk Schaefer, 2021). Deze berekeningen laten onder andere zien dat de keuze van de plaats van monstername enorme consequenties kan hebben voor de uitkomsten van een microplastics analyse, en dat de verspreiding onder andere zal afhangen van deeltjesgrootte en dichtheid van de microplastics. Omdat het onmogelijk is om alle onderwerpen tegelijk te bestuderen, heeft RWS de keuze gemaakt om op microplastics verdelingen op de monsternamelocatie te wachten op de onderzoeksresultaten van de Duitse overheidsinstantie BfG.

Figuur 1 De keuze van de plaats (linker/rechter oever, in het midden of aan de rand) van monstername heeft enorme consequenties voor de uitkomsten van een microplastics analyse: Berekende microplastics verdeling van zichtbare (5 mm) PP deeltjes in de bocht van een rivier. (Dirk Schaefer, 2021).



Hoe, wanneer, hoe vaak en hoe lang ga je bemonsteren?

Hoe toon je aan dat je voor de monstername de juiste keuzes (wanneer, hoe vaak en hoe lang) hebt gemaakt? Stel dat je microplastics bemonstert door rivierwater een paar uur lang door een doorstroomcentrifuge of door een cascade van zeven of netten te pompen. Maar je weet niet in welke mate microplastics concentraties in een rivier, variëren in de tijd. Hoe weet je dan of / in hoeverre het genomen monster representatief is voor het oppervlaktewater dat je wil beschrijven? Hoe veel liter water moet iemand bemonsteren voor een zo representatief mogelijk monster van een rivier? Deze vragen moeten beantwoord zijn, voor je met monitoring begint.

Bij bemonsteringsmethodes wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Steekmonster of discrete bemonstering (een momentopname, of een korte periode van een paar uur)
- “Tijd geïntegreerde bemonstering” (continue bemonstering gedurende een langere periode, zoals enkele weken).

Het verschil tussen deze twee vormen van bemonstering is te vergelijken met het op een willekeurig moment maken van 1 foto (momentopname), of een lange video (met 24 -50 beelden per seconde min of meer tijd geïntegreerd). Bij een momentopname is de kans het grootst dat je een incidenteel hoge concentratie mist, omdat je op het verkeerde moment, niet vaak genoeg of niet lang genoeg hebt bemonsterd. Een momentopname die (zoals bij de kikkervisjes anekdote aan het begin van dit hoofdstuk) toevallig van een extreem lage/hoge piek is genomen, veroorzaakt paniek. Weliswaar heb je de piek niet gemist, maar het analysesresultaat van die momentopname is totaal niet representatief voor de samenstelling van het rivierwater.

Discrete bemonstering lijkt in eerste instantie het eenvoudigst te realiseren. Maar als je dat monster voor monitoring van microplastics of voor een vrachtberekening wil gebruiken, zal je moeten aantonen hoe representatief dat monster is en (dus) dat microplastics concentraties vrijwel niet variëren in de tijd. Of je zal consequent meerdere keren per week moeten bemonsteren en meten om de trefkans op hoge of lage piekconcentraties te vergroten. Dat maakt de monitoring erg duur. Hoe onderbouw je de keuze om met een bepaalde frequentie te meten? En wat is daarvan het gevolg voor de betrouwbaarheid van de monitoringsdata op basis van discrete bemonstering?

Tijd geïntegreerde bemonstering is technisch gezien misschien ingewikkelder om mee te beginnen. Maar daarna is het makkelijker om een gemiddelde microplastics concentratie over een periode van weken te schatten. Wanneer, hoe vaak en hoe lang je bemonstert hoeft je niet meer te beantwoorden of te valideren. Je bemonstert immers continu. Eventuele pieken of dalen met een significante invloed op de gemiddelde concentratie zijn niet gemist tijdens de bemonstering. De representativiteit van een tijd geïntegreerd monster kan verbeterd worden door evenredig met het debiet te bemonsteren (zie “Debiet proportionele bemonstering” op pagina 13).

Als blijkt uit de tijd geïntegreerde bemonstering dat de variatie in de tijd door concentratie-, debiet-fluctuaties weinig invloed hebben op de hoeveelheid zwevend stof en de microplastics concentraties in zwevend stof, dan is een eventuele overstap naar een discrete bemonstering op basis van deze resultaten te onderbouwen. RWS heeft voor die aanpak gekozen: beginnen met validatie van tijd geïntegreerde bemonstering (in eerste instantie: 2 tot 4 wekelijkse continue bemonstering met een sedimentkist met vast debiet). Vervolgens testen of tijd geïntegreerde bemonstering met een sedimentkist en bemonstering van zwevend stof met de MWTL methode (doorstroomcentrifuge gedurende enkele uren) of een filtercascade gelijkwaardige resultaten opleveren. Daarna kan een keuze gemaakt worden voor het gewenste type monsternamen op basis van kwaliteits- en efficiëntie overwegingen.

Op welke diepte ga je bemonsteren?

Er is weinig bekend over de verticale verdeling van microplastics in een rivier. Vaak wordt aangenomen dat de meeste microplastics zich in de bovenste waterlaag (circa 20 cm) bevinden, omdat veel gebruikte plastics zoals PE en PP lichter dan water zijn en – in theorie – dus zouden blijven drijven. Als deze aanname klopt, dan zou monsternamen op 1 meter diepte minder, misschien wel helemaal geen, PE of PP opleveren. Uit berekeningen blijkt dat plastics lichter dan water toch op dieptes groter dan een meter kunnen voorkomen en dat de kleinste microplastics zelfs gelijkmatig over de diepte van een rivier zijn verdeeld (Dirk Schaefer, 2021)

In het rapport “Plastic in de waterkolom van de Boven-Rijn, Waal en IJssel” (Collas, 2021) van de Radboud universiteit werden er met larvennetten op een paar meter diepte meer, maar niet significant meer, microplastics tussen 0,5 en 5 mm (het net beperkte de ondergrens van de onderzochte microplastics) bemonsterd, dan vlak onder het wateroppervlak. RWS heeft een korte, “guerrilla” studie uitgevoerd naar de invloed van de diepte op microplastics (hoofdstuk 5).

Hoe veel rivierwater ga je bemonsteren?

Een kanttekening bij bemonstering van microplastics tot 5 mm – en dat geldt voor alle bemonsteringsmethodes die in deze studie zijn onderzocht – is dat er bij de bemonstering van zwevend stof uit oppervlakte water, met een minimale diepte van 10 cm, naar verwachting heel weinig grotere microplastics (> 300 µm) worden bemonsterd. Dat maakt het moeilijk om een representatief monster te nemen van deze fractie, bijvoorbeeld om de samenstelling van microplastics > 300 µm te bepalen. Mogelijk is langdurige bemonstering met een larvennet voor de grootste microplastics een betere keuze dan bemonstering met een pomp, omdat daarmee een veel grotere hoeveelheid water gefilterd kan worden. Bovendien kunnen drijvende microplastics met een net ook bemonsterd worden. Deze methoden zijn in dit project nog niet onderzocht. Te verwachten is, dat langdurige bemonstering met een fijnmazig net veel last zal ondervinden van verstopping.

In het onderzoek van de Radboud universiteit met larvennetten (Collas, 2021) werd grofweg 1 microplastic met een grootte tussen 0,5 en 5 mm bemonsterd per 5 m³ water. Op deze locaties zal je dus minimaal een half miljoen liter water (bijvoorbeeld 347 dagen lang bij een pompsnelheid van 1 liter per minuut) moeten bemonsteren, om ongeveer 100 van deze grote microplastics (waaronder nurdles: microplastics van een paar mm, die vaak op oevers worden gevonden) te verzamelen. En dan is het nog maar de vraag of er een microplastic van 5 mm zit tussen de circa 100 microplastics met een grootte tussen 0,5 en 5 mm.

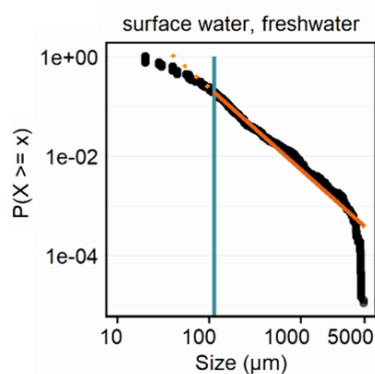
Tot op een (nog onbekende) grens geldt: hoe kleiner een microplastic, des te meer deeltjes er van zijn. Er wordt aangenomen dat dit opgaat tot een ondergrens van 1 micrometer (Merel Kooi, 2021). Het aantal microplastics van 5000 micrometer verhoudt zich (zie Figuur 2) tot het aantal deeltjes van 1 micrometer met de straal van het deeltje tot de macht 2,64. Met andere woorden: in zwevend stof zitten 5,8 miljard (=5000^{2,64}) meer microplastic deeltjes van 1 micrometer, dan van 5000 micrometer. Dat houdt in dat veel meer water moet worden bemonsterd voor 1 microplastic van 5 mm, ten opzichte van 1 microplastic van 1 µm. En 1 microplastic-deeltje is natuurlijk niet genoeg voor een betrouwbare microplastics analyse.

In de praktijk wordt meestal tussen 100 en 10.000 liter rivierwater bemonsterd voor microplastics onderzoek. Deze volumes zijn te klein om betrouwbare meetresultaten voor microplastics tussen 0,5 en 5 mm op te leveren.

Debiet proportionele bemonstering

De stroomsnelheid van een rivier en de hoeveelheid (vooral: zwevend) stof in het water variëren aanzienlijk in de tijd, zie bijvoorbeeld Figuur 3, waar de variatie in zwevend stof gehalte in Eijsden in januari 2022 is weergegeven. Bij hoog water is niet alleen het debiet van een rivier vele malen hoger, dan tijdens droogte. Bovendien kunnen tijdens hoogwater tegelijkertijd ook extreem hoge zwevend stof concentraties voorkomen, als gevolg van materiaal dat van de oevers en de uiterwaarden wegspoelt.

Figuur 2 Relatieve microplastics abundantie vs. deeltjesgrootte uit verschillende microplastics onderzoeken (let op de logaritmische schalen). (Merel Kooi, 2021)

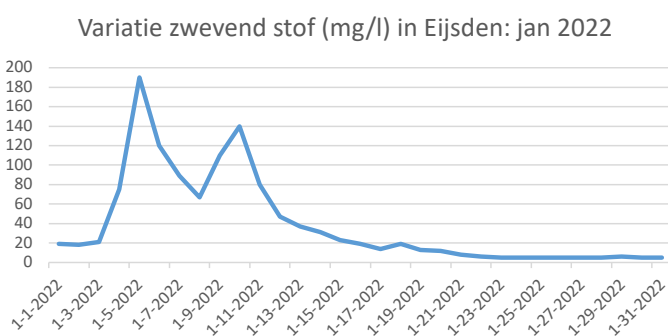


Zowel een steekmonster als een regulier tijd geïntegreerde bemonstering (met een vast volume per tijdseenheid) houden geen rekening met uitschieters in debiet en zwevend stof concentratie tegelijk. Daarmee komt de representativiteit van het genomen monster in gevaar. Door tijdens een continue bemonstering het bemonsterde volume evenredig aan te passen aan de variatie in het debiet van de rivier, wordt een meer representatief monster genomen in periodes met sterk fluctuerende stroomsnelheden. Dit wordt flow proportional sampling genoemd (“debiet proportionele bemonstering”). Het onderzoek in dit rapport laat debiet proportionele bemonstering nog buiten beschouwing.

Van de vier onderzochte bemonsteringsmethodes is een cascade van filters de enige methode, die geschikt is te maken voor debiet proportionele bemonstering. Door de pompsnelheid van de cascade evenredig aan te passen aan de stroomsnelheid van de rivier, zou met een filtercascade (aangenomen dat er geen verstopping plaatsvindt) een representatief monster genomen kunnen worden van zwevend stof tussen 1 en 500 µm. Bij zowel de doorstroomcentrifuge als de sedimentkist moet de pompsnelheid constant gehouden worden, omdat de opbrengst en deeltjesgrootteverdeling varieert met de pompsnelheid. Bij een cascade van zeven zou je in theorie evenredig met het debiet telkens een kleine hoeveelheid water op de zeven kunnen laten lopen. Maar verstopping van de 20 µm zeef terwijl 100 en 300 µm zeven nog geen materiaal hebben verzameld, maakt een cascade van zeven ongeschikt voor het nemen van een representatief tijd geïntegreerd monster voor een microplastics analyse.

Het onderzoek in dit rapport laat debiet proportionele bemonstering buiten beschouwing.

Figuur 3 Is het nemen van één 24 uren monster voldoende om van deze maand een betrouwbare vracht van het zwevend stof te berekenen? Hoe veel neemt het betrouwbaarheidsinterval af door de keuze van het moment van monstername?



2.2 Prestatiekenmerken van de bemonstering

Hoe goed of nauwkeurig kan je bemonsteren? Welke bemonsteringsmethode ook gekozen wordt, in ieder geval moeten de prestatiekenmerken van de bemonsteringsmethode vastgesteld worden, voordat die methode voor monitoring wordt gebruikt. De prestatiekenmerken beschrijven kwantitatief welke bijdrage de bemonstering levert aan de uiteindelijke meetonzekerheid van monitoringsresultaten.

Bemonstering en analyse van microplastics staan in de kinderschoenen. De nauwkeurigheid van bemonstering en analyse van microplastics zijn daarom nog niet bekend. Daarom start RWS met onderzoek naar deze meetonzekerheden.

- **Juistheid / representativiteit:** Microplastics worden niet rechtstreeks bemonsterd. Eerst wordt zwevend stof of sediment bemonsterd. Daarna worden de microplastics gescheiden van de andere deeltjes in het monster, om uiteindelijk een microplastic analyse uit te kunnen voeren. Bij een representatief monster komt de samenstelling van het bemonsterde zwevend stof (zoals bijvoorbeeld: deeltjesgrootteverdeling en microplastics samenstelling) overeen met die van het oppervlaktewater. 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. Ook de verschillende dichtheden van microplastics kunnen er mogelijk toe leiden dat er van bepaalde plastic types meer of minder wordt bemonsterd. Daarnaast kunnen microplastics ook verloren gaan tijdens de monster voorbehandeling. Discriminatie van microplastics door een bemonsteringsmethode op grootte of soortelijk gewicht kan invloed hebben op het analysesresultaat en moet daarom zo veel mogelijk voorkomen worden. In welke mate deeltjes die in een sedimentkist terecht komen, ook daadwerkelijk in de kist achterblijven, zou je aan kunnen duiden met “retentie”. RWS streeft ernaar om microplastics van 1 µm tot 5 mm te bemonsteren, waarbij de samenstelling van het bemonsterde zwevend stof zo goed mogelijk overeenkomt met de samenstelling van het zwevend stof in de rivier.
- **Herhaalbaarheid:** meerdere, gelijktijdig uit een homogene watermassa genomen monsters, leveren – als de monsternamemethode goed functioneert – dezelfde hoeveelheid zwevend stof, met dezelfde samenstelling. Een uitdaging bij het aantonen van de herhaalbaarheid van de monsternamemethode is het vinden van een locatie, waar de samenstelling van het rivierwater in de ruimte zo constant mogelijk is.

- **Reproduceerbaarheid** Voor monitoring is het belangrijk dat de herhaalbaarheid van de monsternamen ook over een lange periode (“reproduceerbaarheid”) constant blijft. Met de reproduceerbaarheid van de monsternamen onderbouw je de bijdrage van de monsternamen aan de onzekerheidsmarge van analyse-resultaten, die over een lange periode (maanden of jaren) zijn verzameld. Ook het aantonen van de reproduceerbaarheid is een uitdaging, omdat de samenstelling van een rivier aanzienlijk varieert in de tijd.
- **Robuustheid:** De bemonsteringsmethode moet toepasbaar zijn onder verschillende omstandigheden (voor MWTL: zwevend stof concentraties variërend van 1 tot 500 mg/l, algengroei, extreem troebel water tijdens hoog water, hoger zoutgehalte in brak water) en ongevoelig zijn voor verstopping of mechanische/elektronische haperingen.
- **Herleidbaarheid:** Strikt genomen is dit geen analytisch chemisch prestatiekenmerk. Maar herleidbaarheid van gegevens is heel belangrijk voor monitoring. Door geautomatiseerd de pomp-snelheid continu in een logbestand bij te houden is herleidbaar of, wanneer en hoe lang de verstoring van het monsternamen-proces is geweest. Daarmee kan de invloed van de storing op het eindresultaat vastgesteld worden en eventueel een meetresultaat afgekeurd worden.

2.3 Bijdrage van variatie door bemonstering aan de meetonzekerheid van monitoringsdata

De samenstelling van rivierwater op een bemonsteringslocatie is niet constant in de tijd. Ten eerste is er altijd sprake van seizoensinvloeden (regenval, algengroei) en hydrologische invloeden (stromingsprofielen bij hoog en laag water). Daarnaast kan de samenstelling van rivierwater in de tijd variëren door input vanuit verschillende bronnen (andere rivieren, afspoeling van uiterwaarden bij extreme regenval, overstort vanuit riolen, mogelijke lozingen vanuit industriële of huishoudelijke bronnen).

Als je voor monitoring op 1 dag per maand één monster zou willen nemen, of als je microplastics in water op verschillende locaties met elkaar wil vergelijken, dan zal je eerst de variatie moeten onderbouwen van:

- Seizoensinvloeden
- Hoog- en laag water
- Dagelijkse variatie
- Variaties veroorzaakt door de bemonsteringsmethode

Zonder deze informatie is de bijdrage van bemonstering aan de meetonzekerheid van monitoringsresultaten onbekend en hoogstwaarschijnlijk onacceptabel groot. Daardoor worden de analyseresultaten onbruikbaar voor (semi-)kwantitatieve evaluaties, zoals het verloop van microplastics concentraties in tijd en ruimte.

3 Vraagstelling en gemaakte keuzes

In hoeverre is een sedimentkist geschikt voor de tijd geïntegreerde bemonstering van zwevend stof voor een microplastics analyse?

Deze vraag trachten we te beantwoorden door hem op te splitsen in:

- 1. Representativiteit & retentie:** In hoeverre lijkt het zwevend stof in de sedimentkist op het zwevend stof in de rivier? Bij een bemonsteringsmethode die niet is gebaseerd op een fysieke barrière speelt bovendien de mate waarin zwevend stof achterblijft in de bemonsteringsopstelling (“retentie”) een belangrijke rol. Factoren die van invloed zijn op representativiteit en retentie, zijn soortelijk gewicht en grootte van de deeltjes, de tijdsduur en het moment waarop het monster wordt genomen. De pomp-snelheid van de bemonstering is mogelijk ook van invloed op de samenstelling van het bemonsterde zwevend stof. De vraag of de diepte van de bemonstering invloed heeft op de monstersamenstelling, is als onderdeel van representativiteit onderzocht in 5.2.
- 2. Prestatiekenmerken (zie 2.2):** In hoeverre zijn de prestaties van de bemonstering te beschrijven met concrete getallen? Hier zijn Relatieve Standaard Deviatie (RSD in: %) voor herhaalbaarheid (gelijktijdige bemonstering op 1 locatie, op 1 moment) en reproduceerbaarheid (variatie op de lange termijn) van de bemonstering de belangrijkste factoren. Voor monitoring van trends over jaren is reproduceerbaarheid een onmisbaar prestatiekenmerk.
- 3. Robuustheid:** zowel bij monsternamen in helder water als troebel water moet de bemonstering voldoende zwevend stof opleveren voor de microplastics analyse. Daarnaast zijn storingsgevoeligheid en levensduur van de apparatuur belangrijke eigenschappen die in de praktijk zijn onderzocht.

Keuzes gemaakt aan de start van het onderzoek

Microplastics is een relatief jong onderwerp ten opzichte van de chemische stoffen die nu in MWTL gemonitord worden. Er wordt enorm veel gepubliceerd over microplastics, maar belangrijke voor de bemonstering noodzakelijke kennis ontbreekt in deze publicaties, zoals de voor monitoring essentiële karakteristieken zoals reproduceerbaarheid volgens [NEN 7777](#) of een schatting van bijdrage van de bemonstering aan de meetonzekerheid volgens [NEN 7779](#) of [Guide to Uncertainty of Measurements \(GUM\)](#).

Hieronder worden de keuzes beschreven om het onderzoek te focussen, die in 2020 gemaakt zijn bij de start van het door RWS uitgevoerde onderzoek naar de bemonstering van zwevend stof voor microplastics analyses.

Bemonstering van zwevend stof van 1 µm tot 5 mm

Gekozen is voor bemonstering van zwevend stof, omdat in deze matrix eerder een trend in de tijd waargenomen kan worden dan in

het sediment op de waterbodem, waar het verse sediment gemengd wordt met ouder sediment in de toplaag van deze waterbodem.

De grootte van microplastics ligt per definitie tussen 1 µm en 5 mm. In dit rapport is de geschiktheid onderzocht van verschillende monsternamemethodes voor zowel de kleinste als de grootste microplastics.

De verwachting is, dat de kleinste deeltjes een kleine bijdrage leveren aan de totale massa van microplastics. Omdat TED GC-MS, de toegepaste analysemethode, microplastics meet op basis van gewichtseenheden, zou mogelijk een hogere ondergrens (bijvoorbeeld: een grotere filtermaat) gekozen kunnen worden bij de bemonstering, zonder de uitkomst van de analyse te beïnvloeden. Het voordeel van een beperking tot bemonstering van grotere deeltjes, is dat de kans op verstopping tijdens monsternamen met een cascade van zeven of filters wordt verkleind, zonder dat dit invloed heeft op het TED GC-MS analysesresultaat. Maar het nadeel van deze keuze is dat het bemonsterde zwevend stof minder geschikt is om aantallen microplastics te meten, omdat het aantal microplastics enorm sterk toeneemt met kleinere afmetingen. De keuze om bij de bemonstering af te wijken van de grootte-definitie van microplastics is (nog) niet gemaakt.

Geen monsternamen van drijvende microplastics

Microplastics in rivierwater worden vrijwel altijd bemonsterd met behulp van een pomp, die rivierwater transporteert naar de monsternamelopstelling (zeef, filter, centrifuge of sedimentkist). Over de monsternamen van drijvende microplastics is weinig gepubliceerd. Bij de start van het project is de keuze gemaakt om de focus te leggen op 1 monsternamemethode, om de kans zo groot mogelijk te maken dat de gekozen methode zo snel mogelijk gevalideerd kan worden. Er is gekozen voor bemonstering met een pomp. Om te voorkomen dat de pomp lucht aanzuigt, waardoor er geen relatie meer gelegd kan worden tussen microplastics aantallen of concentraties en de hoeveelheid bemonsterd rivierwater, is er voor gekozen om 10 cm diepte te bemonsteren en de monsternamen van drijvende microplastics buiten beschouwing te laten. In een kort guerrilla onderzoek is (tevergeefs) geprobeerd om drijvende microplastics te bemonsteren met de bestaande opstelling, maar dit leidde al snel tot storing van de pomp.

Start met (niet debiet proportionele) tijd geïntegreerde monsternamen

Microplastics kunnen gedurende een korte periode bemonsterd worden uit een grote hoeveelheid (miljoenen liters) water met een centrifuge, of uit een kleine hoeveelheid (afhankelijk van de zeefdiameter enkele tientallen tot duizenden liters) water met een cascade van zeven of filters. Voor het berekenen van een vracht

microplastics die elke maand door een rivier wordt getransporteerd, is tijd geïntegreerde bemonstering waarschijnlijk een geschiktere methode.

Zo lang het water stroomt op een monsternamelocatie, kan een sedimentkist zonder pomp (“passieve bemonstering”) worden gebruikt voor bemonstering van zwevend stof. Op deze wijze is bijvoorbeeld op 18 locaties een [monitoringsprogramma van microplastics in de Donau](#) uitgevoerd (Maria Kittner, 2022). Tijdens de uitvoering van een monitoringsprogramma in Nederland verschillen de stroomsnelheden en de zwevend stof concentraties per locatie. In het IJsselmeer en Haringvliet kan het water langdurig stilstaan, waardoor passieve bemonstering niet werkt op deze locaties. Bovendien is er een verloop van de stroomsnelheid op een vaste locatie in de tijd. Omdat de verzamelde hoeveelheid zwevend stof in een sedimentkist afhangt van het zwevend stof gehalte in de rivier en van de snelheid waarmee het water door de sedimentkist stroomt, heeft RWS er voor gekozen om een pomp voor de sedimentkist te plaatsen (“actieve bemonstering”), zodat op alle locaties dezelfde, constante pompsnelheid wordt gebruikt. In dit onderzoek is de bemonstering niet aangepast aan het debiet / de flow snelheid van de rivier (zie: debiet proportionele bemonstering op pagina 13).

Voor een representatief riviermonster voor het berekenen van een microplastics vracht, die elke maand Nederland via de rivieren binnenkomt, zou je het liefst zo lang mogelijk zo veel mogelijk rivierwater willen bemonsteren. Dat is bijvoorbeeld mogelijk door dagelijks met een centrifuge te bemonsteren, maar dat is een dure oplossing. Tijd geïntegreerde bemonstering kan een aantrekkelijk alternatief zijn, maar wordt nog weinig toegepast in de praktijk.

RWS bemonstert in het kader van MWTL al met een centrifuge. Bemonstering van zwevend stof met een sedimentkist is als alternatieve tijd geïntegreerde bemonsteringsmethode gekozen. In een guerrillastudie in samenwerking met de Hogeschool Rotterdam is de geschiktheid van de sedimentkist, en van een cascade van zeven voor de bemonstering van zwevend stof onderzocht, en wordt vanaf 2023 onderzocht of een cascade van filters geschikt zou zijn voor tijd geïntegreerde bemonstering van microplastics.

Bemonstering van nanoplastics

Wat aantallen plastic deeltjes – en daarmee ook de risico’s voor mens en milieu – betreft, zijn plastics met een deeltjesgrootte kleiner dan 1 µm (“nanoplastics”) samen met microplastics kleiner dan 20 µm vrijwel zeker niet verwaarloosbaar als deel van de in totale aantallen bemonsterde microplastics van 1 micrometer tot 5 millimeter. Deze kleine plastics worden gegeten door zoöplankton, met versterving als gevolg (Koelmans, 2020). Ze zijn ook zo klein, dat ze in menselijk bloed terecht komen (H.A. Leslie, 2022). Betrouwbare monsternamen en analyse van nanoplastics is zeer gecompliceerd.

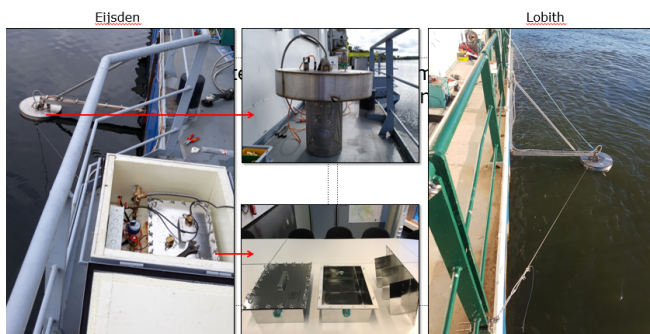
Gezien de kleine afmetingen (en dus ook het volume) van nanoplastics, is de bijdrage van nanoplastics aan de plastic vracht die via het zwevend stof van de rivieren Nederland binnenkomt of naar zee stroomt, te verwaarlozen. Daarom vallen nanoplastics buiten de scope van dit rapport.

4 Monsternamen van zwevend stof voor microplastics analyses

Om de geschiktheid van de verschillende monsternamen systemen te onderzoeken, zijn in Lobith, Eijsden en Rotterdam armen geplaatst op de (meet-)pontons (Figuur 4). Deze armen hebben op een vaste diepte onder het wateroppervlak een pomp, die het rivierwater met een snelheid van circa 8 liter per minuut via RVS leidingen omhoog pompt. Deze pompsnelheid zorgt voor voldoende flow om het zwevend stof omhoog naar de sedimentkist of filtercascade op het ponton te pompen.

Er zijn drie prototypes (Figuur 5) gebouwd om rivierwater van verschillende dieptes (gelijktijdig) naar een bemonsteringsopstelling voor microplastics te pompen:

Figuur 4 Microplastics Bemonsteringsopstellingen met sedimentkist in Eijsden en Lobith



Figuur 5 Bemonsteringsopstellingen gebruikt in Rotterdam (Type 1, 2 en 3), Lobith (Type 1 en 3) en Eijsden (Type 1 en 2)

Type 1	Type 2	Type 3
Bemonstering op 10 cm diepte	Bemonstering op 2 dieptes Tot 1 meter verschil Geschikt voor gelijktijdige duplo bemonstering	Gelijktijdige bemonstering op 2 dieptes Tot 3 meter verschil

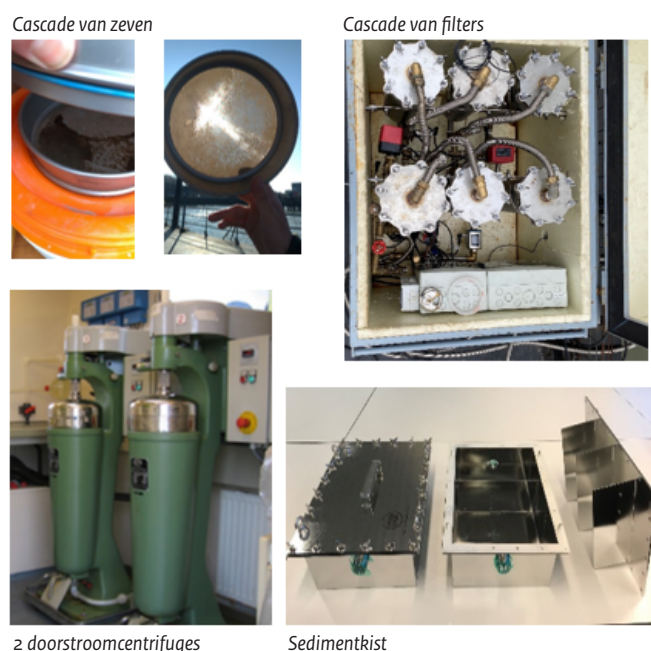
Vlak voor de sedimentkist of cascade van filters of zeven wordt de doorstromingsnelheid in de sedimentkist geregeld naar een constante stroomsnelheid. Dit is gedaan door het toepassen van een bypass vlak voor de sedimentkist of cascade, waardoor het water met een debiet tussen de 1 en 8 liter per minuut door de kist of cascade stroomt.

RWS heeft continue registratie van druk en pompsnelheid toegepast bij zowel de sedimentkist als de cascade van filters. Deze data worden bewaard als borging van de herleidbaarheid van de monsternamen.

4.1 Bemonsteringsmethode

Om het zwevend stof uit het oppervlaktewater te halen, heeft RWS gebruik gemaakt van 4 verschillende opstellingen (Figuur 6):

Figuur 6 Bemonstering van zwevend stof: cascade van zeven, cascade van filters, doorstroomcentrifuge en sedimentkist.



2 doorstroomcentrifuges

Sedimentkist

- Cascades van zeven (waar het water op basis van zwaartekracht door de zeven gaat)
- Cascades van filters (waar het water door de filters gepompt wordt in een gesloten opstelling, waar een grotere druk dan zwaartekracht mogelijk is)
- Doorstroomcentrifuge
- Sedimentkist

Een zeef- en filtercascade zijn gebaseerd op hetzelfde principe, waarbij een fysieke barrière met een bepaalde maaswijdte wordt gebruikt om deeltjes groter dan deze maaswijdte te bemonsteren. Een cascade van zeven of filters heeft als voordeel dat de ondergrens van de deeltjesgrootte wordt begrensd door een fysieke barrière, waardoor er bij de bemonstering met een filtercascade minder verliezen optreden van de kleinste microplastics. Een nadeel van deze fysieke barrière is dat zeven en filters gevoelig zijn voor verstopping. Om vroegtijdige verstopping te voorkomen is het noodzakelijk om de zeven en filters in een cascade te gebruiken. Hierbij worden (meestal drie) zeven of filters met verschillende poriëgroottes (van grof naar fijn) achter of boven elkaar geplaatst. De doorstroomcentrifuge en sedimentkist zijn minder gevoelig voor verstopping en worden daarom niet in cascade gebruikt. Een cascade van zeven verschilt van een filtercascade in dat de gestapelde zeven geen afgesloten systeem vormen, maar een open systeem waarbij het opgepompte water door middel van zwaartekracht door de zeven loopt. Een cascade van zeven is daarom gevoeliger voor verstopping dan een filtercascade. In de literatuur worden – om het moment van verstopping te vertragen – filtercascades toegepast met een kleinste filtermaat van 20 µm. RWS wil een opstelling gebruiken met 1 µm als kleinste filtermaat. Deze opstelling met een cascade van filters voldoet nog niet aan de criteria om in gebruik genomen te worden.

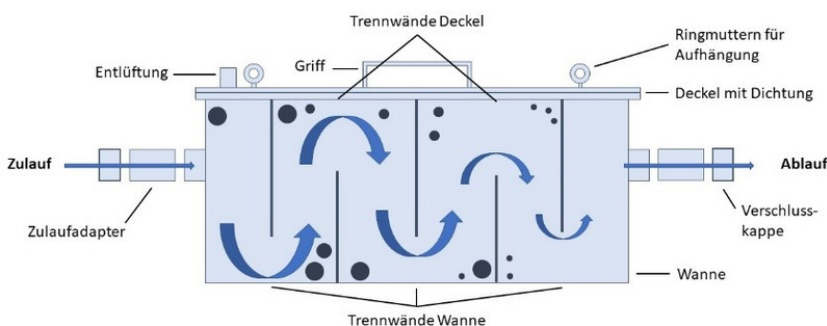
Bemonstering met behulp van een doorstroomcentrifuge wordt al jaren toegepast voor monitoring van zwevend stof voor MWTL. Bij gebruik van een doorstroomcentrifuge (binnen MWTL toegepast voor de bemonstering van zwevend stof) wordt het water – en materiaal dat even zwaar of lichter is in vergelijking met water – in theorie uit de centrifuge verwijderd en blijft het zwaardere zwevend stof achter tegen de wand van de centrifuge. Met deze methode

loop je dus kans om (een deel van) de lichtere plastics en mogelijk ook de kleinere microplastics te verliezen. Voordat je een doorstroomcentrifuge toepast bij microplastics monitoring, moet dit eerst uitgezocht zijn. Bij monsternamen van microplastics met een doorstroomcentrifuge is het mogelijk om het volledige microplastics bereik van 1 µm tot 5 mm te bemonsteren door minimaal enkele duizenden liter water door het systeem te pompen. Ten opzichte van een zeef- of filtercascade kan er met een doorstroomcentrifuge zwevend stof uit een veel groter volume water worden bemonsterd. Maar omdat de doorstroomcentrifuge een open systeem is zonder fysieke barrière bestaat het risico dat een specifiek deel zoals bijvoorbeeld de kleinere en/of lichtere microplastics niet – of gedeeltelijk – worden bemonsterd.

Ook bij bemonstering met een sedimentkist is er geen fysieke barrière zoals een filter of een zeef, die het zwevend stof tegenhoudt. Daarom is monsternamen van microplastics van 1 µm tot 5 mm in oppervlaktewater met een sedimentkist mogelijk een methode, waarbij niet uitgesloten kan worden dat rivierwater nog (veel) meer van de kleinste microplastics bevat dan de monsters die met een sedimentkist zijn genomen. In de periode 2023-2025 wil RWS dit verder onderzoeken door gelijktijdig met een cascade van filters, met 1 µm als fijnste filtermaat, te bemonsteren. Iedere methode heeft voordelen en nadelen, die gevolgen hebben voor het analysesresultaat. Een paar voorbeelden:

Als microplastic concentraties in rivierwater fluctueren in de tijd, bijvoorbeeld als gevolg van variaties in zwevend stof concentraties, dan bestaat het risico dat een te korte monsternamen (of monsternamen van een te klein volume) of een slecht getimed moment van monsternamen een niet representatief monster oplevert. Bemonstering met sedimentkisten is daarvoor minder gevoelig, omdat in de sedimentkisten als het ware een mengmonster wordt gemaakt van het zwevend stof uit al het oppervlaktewater, dat tijdens de bemonsteringsperiode door de kist is gestroomd. Door de lange monsternamenperiode van een sedimentkist zijn de resultaten minder gevoelig voor eventuele korte uitschieters in microplastic concentraties. Een bemonsteringsperiode van 2 weken (of langer) en een bemonsterd volume van tenminste 80 m³ liter oppervlaktewater is een goed uitgangspunt om dit risico te

Figuur 7 Principe van de sedimentkist (overgenomen van UGT (UGTgmbh, 2023)): drijvende microplastics blijven boven in de kist achter en microplastics zwaarder dan water onder in de kist.



verkleinen. Voor het monitoringsprogramma van RWS mikken we voor een sedimentkist op een bemonsteringsperiode van 1 maand en/of tenminste 20 m³ oppervlaktewater.

Verstopping van een zeef of filter opstelling kan de kans op een niet-representatief monster vergroten. Ten eerste wordt de kans op een niet-representatief monster groot, als de fijnste zeef of filter zo snel verstopt, dat er nog maar een klein volume aan rivierwater (minder dan 100 liter) is bemonsterd. Bij een korte bemonsteringsperiode zijn er zo weinig microplastics groter dan 100 µm op de zeven of filters achtergebleven, dat ze niet zijn te meten. Je zou de bemonsteringsperiode kunnen variëren met de zeefgrootte: maar hoe representatief is een monster dat is samengesteld uit het zwevend stof dat bijvoorbeeld in een half uur is verzameld met een 20 µm zeef, met het zwevend stof dat in 12 uur is verzameld met een 300 µm zeef? Om dat aan te tonen, zal je veel onderzoek moeten doen naar de variatie in de tijd van de deeltjesgrootteverdeling van de microplastics, voordat meetresultaten van gezeefde monsters bruikbaar zijn voor monitoring. We hebben deze onderbouwing niet in de literatuur gevonden.

Als blijkt dat een van deze factoren een grote bijdrage aan de spreiding van de monitoringsresultaten oplevert, pas dan het monitoringsprogramma aan door gericht extra monsters toe te voegen.

Een andere manier om deze invloeden op monitoringsresultaten te dempen, is om gedurende de hele maand (tijd geïntegreerd) rivierwater te bemonsteren. Mede daarom is de sedimentkist gebruikt voor monsternamen in deze studie.

Aansluiting voor de monsternamen van microplastics op de MWTL centrifuge methode scheelt RWS in de bemonsteringskosten. De invloed van tijd, microplastics dichtheid en deeltjesgrootte op de bemonstering van microplastics met een doorstroomcentrifuge zullen onderbouwd moeten worden, voordat een doorstroomcentrifuge voor microplastics toegepast kan worden voor MWTL. Door bemonstering met een doorstroomcentrifuge te vergelijken met bemonstering met een cascade van filters, zou aangetoond kunnen worden in welke mate er (een specifiek deel van de) microplastics gemist wordt bij bemonstering met een doorstroomcentrifuge.

4.2 Representativiteit

Een representatief monster heeft dezelfde samenstelling als het water in de rivier. Als je op dezelfde plaats en op hetzelfde moment meerdere monsters neemt, en de samenstelling van deze monsters komt niet overeen, dan is dat een belangrijke aanwijzing dat monsternamen mogelijk geen representatief monster heeft opgeleverd (of de analysemethode niet voldoet). Het is onmogelijk om de exacte samenstelling van een rivier te weten. Daarom wordt de representativiteit van een genomen monster, via omwegen onderzocht.

De eerste eis die je aan de monsternamen van zwevend stof mag stellen, is dat de hoeveelheid bemonsterd zwevend stof die gelijktijdig wordt verzameld in meerdere monsternamenopstellingen die vlak bij elkaar zijn geplaatst, overeen komt.

Een tweede eis die je op zijn minst aan de monsternamen mag stellen, is dat ook de samenstelling van meerdere monsters die op hetzelfde moment en op dezelfde wijze worden bemonsterd, zo goed mogelijk met elkaar overeenkomen (zoals: deeltjesgrootteverdeling en samenstelling). Daarom is er onderzoek uitgevoerd naar de deeltjesgrootteverdeling van het zwevend stof, dat in de sedimentkisten in Rotterdam, Eijsden en Lobith in 2021 is verzameld. Ook wordt de plastic samenstelling van gelijktijdig bemonsterd zwevend stof met elkaar vergeleken.

Een derde eis is dat de samenstelling van zwevend stof verzameld met verschillende bemonsteringsmethodes, die op andere scheidingsprincipes zijn gebaseerd, overeenkomt: Bij bemonstering met een cascade van zeven of filters, is er een fysieke grens voor de grootte van microplastics, die de kleinste zeef of filter kunnen passeren. Bij bemonstering met een centrifuge of met een sedimentkist, is er geen fysieke barrière. Eventuele verschillen tussen de monsters die zijn verzameld met deze verschillende bemonsteringsmethodes, zijn belangrijke aanwijzingen dat een bemonstering mogelijk niet representatief is. De deeltjesgrootteverdeling van zwevend stof verzameld met een doorstroomcentrifuge is vergeleken met zwevend stof, verzameld met een sedimentkist.

Omdat een sedimentkist geen fysieke barrière heeft, zoals een filter of een zeef, is bij de sedimentkist getest in hoeverre deeltjes die in de kist komen, ook in de kist blijven ("retentie").

4.2.1 Eventuele beschadiging microplastics door de pomp tijdens monsternamen

Om zwevend stof te bemonsteren, wordt water opgepompt naar een centrifuge, filtercascade of sedimentkist. De pomp is geplaatst voor de centrifuge of sedimentkist. Het is in theorie mogelijk dat microplastics fragmenteren door de kracht die de pomp op de deeltjes uitoefent, voordat het wordt verzameld. De deeltjesgrootteverdelingen (volume), die RWS heeft bepaald voor Rijn water, komen overeen met deeltjesgrootteverdelingen van Rijn water dat is bemonsterd zonder een pomp te gebruiken: het maximum van de volumeverdeling ligt rond de 30 micrometer (LARTIGES, 2001)

De invloed van de pomp op de deeltjesgrootteverdeling wordt in 2023 door RWS onderzocht door op andere wijzen te bemonsteren dan een pomp.

4.2.2 Hoeveelheid bemonsterd zwevend stof: Herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid

Bij het RDM dok is de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van de bemonsterde hoeveelheid zwevend stof bepaald voor een sedimentkist opstelling en een zeefcascade. Het RDM dok is een

haven(bekken) aan de Nieuwe maas, waar de dynamiek van het water statischer zal zijn dan in een rivier.

Gelijktijdige continu bemonstering met 2 of 3 sedimentkisten (met 2 of 3 pompen op 1 locatie, met dezelfde diepte en eenzelfde pompsnelheid) is mogelijk met een goede herhaalbaarheid: Gedurende 3 periodes van 14 dagen is er gelijktijdig bemonsterd met twee sedimentkisten op een korte afstand van elkaar op 10 cm diep en een pompsnelheid van 4 l/min. Gemiddeld bedroeg de spreiding in de hoeveelheid (uit 80 m³ water) verzamelde zwevend stof: 4%.

Bij een pompsnelheid van 1 liter per minuut is de variatie in de hoeveelheid (uit 20 m³) zwevend stof groter, met een gemiddelde RSD van 15% (zie Tabel 3 op pagina 43).

Naast een bemonsteringsperiode van 14 dagen, is er ook 24 uur lang gelijktijdig bemonsterd met twee sedimentkisten op een korte afstand van elkaar. Bij een pompsnelheid van 1 L/min bedroeg de spreiding in de hoeveelheid (uit -1.4 m³ water) verzameld zwevend stof 22%. Bij een pompsnelheid van 4 L/min was de spreiding in de (uit -5.7 m³) verzamelde hoeveelheid zwevend stof 12%. De herhaalbaarheid van de bemonstering wordt beter, door een langere monsternamperiode.

Bij het RDM dok is met twee 300/100/20 µm zeefcascades zes keer gelijktijdig bemonsterd achter een sedimentkist, waarbij de bemonsteringsperiode per keer werd bepaald door het moment dat de eerste van de twee cascades verstopt raakte. Zelfs bij gebruik achter een sedimentkist verstopte de zeefcascades in een periode tussen de 8 en 140 minuten. De hoeveelheid zwevend stof die met twee zeven gelijktijdig werd verzameld op dezelfde diepte (uit 0,04 tot 0,56 m³ liter water), varieerde met een RSD van 50% (Tabel 6 op pagina 47).

Bovenstaande spreidingen laten variatie van het zwevend stof in de tijd buiten beschouwing, omdat monsters met elkaar worden vergeleken, die op hetzelfde moment en op dezelfde wijze zijn bemonsterd. Als je monsters met elkaar vergelijkt, die op verschillende momenten zijn genomen, neemt de spreiding nog verder toe, door fluctuaties van de hoeveelheid zwevend stof in de tijd (zie Figuur 3).

Om de spreiding in de tijd te onderzoeken werd in het RDM dok twee keer 14 dagen lang dagelijks bemonsterd met elke dag een nieuwe sedimentkist (10 cm diepte, bij een pompsnelheid van 1 L/min), zie Tabel 4 op pagina 46. De variatie (RSD) in de hoeveelheid zwevend stof van de 14 monsters die gedurende een dag met de sedimentkist werd verzameld was gemiddeld 29%. Ook is er gedurende dezelfde twee weken wekelijks bemonsterd met een elke week een nieuwe sedimentkist. Dit is gedaan op 10 cm diepte met een pomp snelheid van 1 L/min. De variatie in de hoeveelheid zwevend stof van de 2 wekelijkse monsters was 36%. De natuurlijke variatie in de hoeveelheid zwevend stof is dus groter dan de variatie als gevolg van de bemonstering.

Ook de hoeveelheid verzameld zwevend stof van de dagelijkse en wekelijkse bemonsteringen is met elkaar vergeleken. De eerste week was de hoeveelheid zwevend stof in een sedimentkist na 7 dagen continu bemonsteren (29.1 gram) vrijwel gelijk aan de som van de 7 dagelijkse bemonsteringen met elke dag een nieuwe sedimentkist (29.2 gram). De tweede week was de hoeveelheid zwevend stof in de wekelijkse bemonstering (17.3 gram) 81% van de som van de 7 dagelijkse bemonsteringen (19.1 gram).

Voor monitoring, vrachtberekening of het vergelijken van concentraties van verschillende locaties, is het wat meetonzekerheid betreft aantrekkelijker om uit te gaan van een 14 daags verzamelmonster met een herhaalbaarheid van 12% (1 L/min, 10 cm diepte), dan van een van de 14 24-uurs monsters, met een onderlinge variatie van 25%.

4.2.3 De samenstelling van bemonsterde zwevend stof

Deeltjesgrootte verdeling van zwevend stof

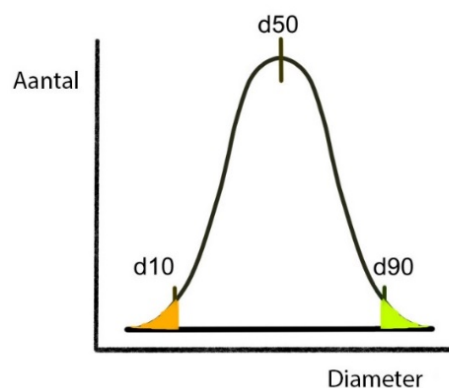
Het uitgangspunt van RWS is dat de bemonsteringsmethode zwevend stof (en dus: microplastics) van 1 µm tot 5 mm oplevert, omdat dit deeltjesgroottebereik overeenkomt met de definitie van microplastics.

Van twee zwevend stof monsters die gelijktijdig met sedimentkisten zijn bemonsterd is een deeltjesgrootteverdeling bepaald met behulp van laser diffractie (Malvern Mastersizer 2000).

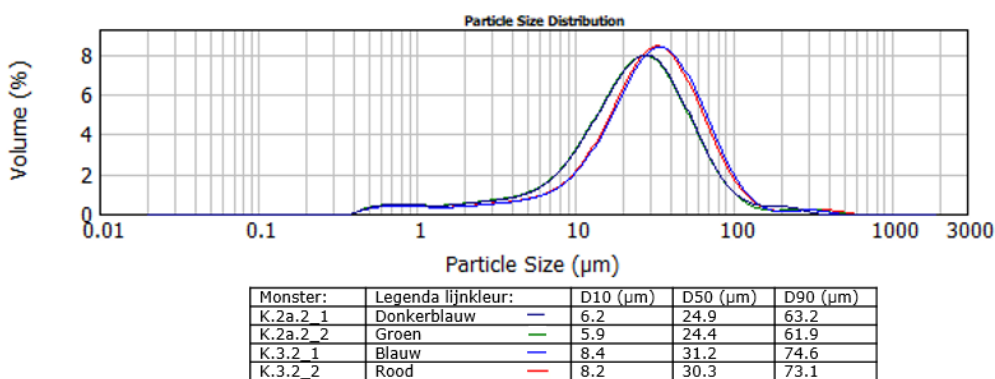
Deeltjesgrootteverdelingen worden gekenmerkt door de kengetallen $D(0,1)/D_{10}$, $D(0,5)/D_{50}$ en $D(0,9)/D_{90}$, zoals weergegeven in Figuur 8:

- D_{10} is een kengetal van de kleinste deeltjes: 10% van alle deeltjes is kleiner dan D_{10}
- D_{50} ligt in het midden van de deeltjesgrootteverdeling: 50% van alle deeltjes is kleiner/groter dan D_{50}
- D_{90} is een kengetal van de grootste deeltjes: 10% van alle deeltjes is groter dan D_{90}

Figuur 8 Kengetallen voor deeltjesgrootteverdelingen.



Figuur 9 Deeltjesgrootteverdeling op basis van volume van twee gelijktijdig bemonsterde zwevend stof monsters, bemonsterd met een sedimentkist op een diepte van 10 cm, met een debiet van 4 L/min. De deeltjesgrootteverdelingen zijn bepaald met laser diffractie met een Malvern Mastersizer 2000 en voor elk monster in duplo uitgevoerd.



Figuur 9 geeft de deeltjesgrootteverdeling van de twee gelijktijdig bemonsterde zwevend stof monsters op basis van volume. Beide monsters zijn in duplo gemeten om de spreiding van de deeltjesgroottebepaling te onderzoeken. Tussen de duplo metingen is maar een kleine spreiding te zien (RSD kengetallen <5%), tussen de twee verschillende monsters is dit verschil iets groter, maar nog steeds gering (RSD kengetallen <25%).

Microplastic concentraties in zwevend stof

Van een aantal monsters is naast de hoeveelheid zwevend stof ook het microplastics gehalte in het zwevend stof bepaald met behulp van TED GC-MS. Tabel 2 geeft de microplastics concentraties in g/kg voor 3 zwevend stof monsters, die gelijktijdig zijn bemonsterd, op dezelfde diepte (10 cm) en met hetzelfde debiet (4 L/min). Voor de meeste plastics en rubbers wordt in gelijktijdig verkregen monsters een overeenkomstig microplastics gehalte gevonden. Voor PMMA (en mogelijk PP) fluctueerde de concentratie in de ruimte mogelijk meer, waardoor er zelfs in gelijktijdig genomen verzamelmonsters van 14 dagen een groter concentratieverschil werd gemeten.

Mogelijk zijn er incidenteel gedurende een bemonsteringsperiode van 2 weken variaties in PMMA geweest, dat dit een meetbaar verschil oplevert.

4.2.4 Samenstelling: Sedimentkist vs. Doorstroomcentrifuge

Voor het landelijke monitoringsprogramma MWTL verzamelt Rijkswaterstaat zwevend stof met een doorstroomcentrifuge, waarin in theorie materiaal dat zwaarder is dan water, wordt gescheiden van het oppervlaktewater. Bij microplastics brengt dat een risico met zich mee, dat je bij de monsternamen de microplastics met een lagere (of gelijke) dichtheid dan water (zoals PE en PP) zou kunnen verliezen. Voor zover bekend is er in de literatuur niet aangetoond of – en in welke mate – dit ook zo is. Een andere mogelijke nadeel van bemonstering met een doorstroomcentrifuge voor het berekenen van vrachten, is dat er slechts enkele uren per maand op een locatie wordt bemonsterd.

Tabel 2 Microplastics gehalten bemonsterd op dezelfde diepte (10 cm) en met dezelfde pompsnelheid (4 L/min) in drie verschillende sedimentkisten gedurende een periode van twee weken. De gehalten zijn bepaald met TED GC-MS en weergegeven in g/kg.

Sample	Analyse uitgevoerd door:	Start	PE	PP*	PET	SBR	NR	PS	PA	PMMA	Som
K1.1 10_4 G	RWS/BAM	23-feb-21	1,0	0,06	<LOD	0,15	0,03	0,07	0,02	<0,07	1,3
K3.1 10_4 G	RWS/BAM	23-feb-21	0,9	0,05	<LOD	0,15	0,02	0,05	<LOD	0,11	1,3
K4.1 10_4	BAM	23-feb-21	1,3	<LOD	<LOD	0,16	0,02	0,04	<LOD	0,03	1,5
Gemiddelde:			1,1	0,06	-	0,15	0,02	0,05	-	-	1,4
RSD:			20%	13%	-	3%	30%	28%	-	-	11%

Daarom is RWS het microplastics onderzoek gestart met tijd geïntegreerde bemonstering met een sedimentkist voor monstername van zwevend stof. Voor RWS is het aantrekkelijk om ook het zwevend stof voor een microplastics analyse te bemonsteren met een doorstroomcentrifuge, omdat deze methode voor MWTL wordt toegepast om zwevend stof te verzamelen.

Om een eerste indruk van de geschiktheid van de doorstroomcentrifuge voor de bemonstering van microplastics te krijgen, hebben we het monster dat in juni 2021 in Lobith is verkregen met de sedimentkist, waarvan we inmiddels weten dat je daarmee plastics lichter dan water kan bemonsteren, vergeleken met 2 monsters die voor het monitoringsprogramma zijn bemonsterd met een centrifuge in dezelfde maand.

Met beide bemonsteringsmethodes worden er vele tienduizenden liters water bemonsterd, om een representatief monster te nemen. Bij de vergelijking van deze twee bemonsteringsmethodes, is er ten eerste een verschil in de manier waarop het zwevend stof uit het water wordt gehaald. Daarnaast was er een verschil in bemonsteringsperiode, omdat de centrifuge in een paar uur bemonsterde (momentopname) en de sedimentkist gedurende een maand (tijd geïntegreerd).

De kengetallen van deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof monsters genomen met de doorstroomcentrifuge en met een sedimentkist in Lobith en Eijsden zijn weergegeven in Tabel 7 op pagina 45.

De spreiding in de kengetallen tussen monsters bemonsterd op dezelfde locatie, maar met een verschillende methode, is groter dan de spreiding gevonden tussen een gelijktijdige bemonstering met dezelfde methode (zie **Deeltjesgrootte verdeling van zwevend stof** hierboven). Dit geeft een indicatie dat er een (klein) verschil is tussen de deeltjesgrootteverdeling van het zwevend stof verzameld met een centrifuge, ten opzichte van de deeltjesgrootteverdeling van het zwevend stof verzameld met een sedimentkist. De zwevend stof monsters verzameld met een sedimentkist bevatten meer grotere deeltjes dan een zwevend stof monster verzameld met de centrifuge, maar ook bij deze monsters is 90% van het volume van de deeltjes kleiner dan 177 μm (Eijsden) of 116 μm (Lobith).

De microplastics concentraties in zwevend stof van de 2 monsters in juni 2021 bemonsterd met een doorstroomcentrifuge (2,1 en 2,0 g/kg als som van de 8 geanalyseerde plastics) liggen in dezelfde ordegrootte als het zwevend stof monster uit een sedimentkist in juni 2021 (1,9 g/kg). Ook de concentraties van de individuele plastics liggen dicht bij elkaar (zie Tabel 8).

Plastics met een dichtheid kleiner dan water worden dus ook in de zwevend stof monsters van de doorstroomcentrifuge gevonden. Kleine verschillen in concentratie kunnen veroorzaakt worden door meetonzekerheid van de analysemethode, verschillen in de bemonsteringsperiode, of door de verschillen in bemonsteringsmethode. Dit zal verder onderzocht worden in 2023-2025.

4.2.5 Retentie: Welk deel van het zwevend stof blijft in een sedimentkist achter?

Door het ontbreken van een fysieke barrière is het mogelijk dat (een deel van) de kleinste of grootste zwevend stof deeltjes tijdens de bemonsteringsperiode – van een week of meer – de sedimentkist verlaten.

Om vast te stellen welk deel van het zwevend stof in een kist achter blijft, en welk deel de sedimentkist verlaat, zijn de volgende experimenten uitgevoerd:

- Het bepalen van de opbrengst van zwevend stof in een sedimentkist bij verschillende pompsnelheden.
- Meten van de invangst van zwevend stof dat uit een sedimentkist komt, met behulp van een cascade van zeven achter de sedimentkist. De zeven vangen zwevend stof dat door de kist heen is gegaan (alleen microplastics > 0,3 mm).
- Meten van de invangst van zwevend stof dat uit een sedimentkist komt, met behulp van meerdere (2 tot 4) sedimentkisten achter elkaar
- Terugvinding van in de kist geadderde (zichtbare en onzichtbare) microplastics

Opbrengst zwevend stof bij verschillende pompsnelheden

Bij een sedimentkist is het percentage zwevend stof dat uit het rivierwater wordt gehaald, afhankelijk van de snelheid waarmee het water door de kist gaat.

Voor een pompsnelheid tussen 1 en 8 liter per minuut geldt: hoe hoger de pompsnelheid, des te hoger de hoeveelheid zwevend stof die wordt bemonsterd.

De hoeveelheid zwevend stof per liter water, die in de kist achterblijft, is echter juist het hoogst bij de laagste pompsnelheid. De herhaalbaarheid van de hoeveelheid zwevend stof, die met de kist wordt bemonsterd, is het best bij een pompsnelheid van 4 l/min. Zie Tabel 3 (pagina 43) voor een vergelijking van de totale hoeveelheid zwevend stof en de hoeveelheid zwevend stof per liter, die in 14 dagen werd verzameld.

Verliezen van microplastics >0,3mm? Cascade van zeven achter een sedimentkist

Het eerste experiment dat we hebben uitgevoerd, is het plaatsen van een cascade van zeven (300, 100, 20 μm) achter een sedimentkist. Zelfs achter een sedimentkist die een groot deel van het zwevend stof opvangt, verstopte de fijnste zeef binnen een half uur. Herhaalde monsternamen met een 20 μm zeef vlak achter elkaar, gaf (omgerekend naar een periode van een half uur, omdat het moment van verstopping ook fluctueerde) een enorme spreiding te zien (RSD 50%, zie Tabel 6 op pagina 47).

Figuur 10 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 afdichting van de RVS leidingen.



kort: die bevatten na een half uur vrijwel geen zwevend stof. Daarom zijn de zeefexperimenten veel langer (14 dagen, in plaats van een half uur) voortgezet zonder de 20 µm zeef. Na 14 dagen bleek dat de hoeveelheid zichtbaar zwevend stof (> 300 µm) dat de sedimentkist heeft verlaten zeer gering was, zie bijvoorbeeld Figuur 10.

Meerdere sedimentkisten achter elkaar

Om een indicatie te krijgen van de retentie van zwevend stof in de sedimentkist zijn er verschillende experimenten uitgevoerd waarbij er meerdere sedimentkisten in serie achter elkaar geplaatst zijn. Gedurende een periode van 2 weken wordt er tussen de 20.000 (1 l/min) en 160.000 liter (8 l/min) water door een sedimentkist gepompt. De verhouding van de hoeveelheden zwevend stof in twee in serie geplaatste kisten, blijkt bij helder water en gelijkblijvende pompsnelheid zeer constant, omdat zowel de hoeveelheid zwevend stof in de eerste kist als de hoeveelheid zwevend stof in de daaropvolgende kist heel constant is. Bij een debiet van 4 l/min (wat met een stroomsnelheid van ~1 m/s overeenkomt met de gemiddelde stroomsnelheid van de Rijn) bevat de tweede kist gemiddeld 62% van de hoeveelheid zwevend stof in de eerste kist (RSD 7%, n=6). Bij een lagere pompsnelheid daalt het percentage zwevend stof in de tweede kist (betere retentie), maar neemt de spreiding toe. Omdat zowel de absolute hoeveelheid als het percentage van het zwevend stof dat in een kist achterblijft, afhankelijk zijn van de snelheid waarmee het water door de kist stroomt, is een identieke, constante pompsnelheid op alle locaties noodzakelijk om de monsters te kunnen gebruiken voor monitoring.

De relatieve opbrengst van de sedimentkist lijkt ook afhankelijk van het zwevend stof gehalte in de rivier: Bij grotere hoeveelheden zwevend stof in het rivierwater neemt de relatieve opbrengst van de tweede sedimentkist af, met andere woorden: De herhaalbaarheid van de hoeveelheid zwevend stof is goed, maar de reproduceerbaarheid niet.

Om een schatting te maken van welk deel van het zwevend stof in de eerste sedimentkist achterblijft, is er gedurende 14 dagen bemonsterd met 4 sedimentkisten achter elkaar (zie Tabel 10 op pagina 49).

Als alleen aan de hand van het percentage van de tweede kist (67%) de totale hoeveelheid zwevend stof wordt geschat, dan zou er ~172 gram zwevend stof in 80.000 liter water (~2 mg/l) hebben gezeten (zie Tabel 11 op pagina 52). Op basis van de opbrengst van de tweede kist is de schatting dat 34% van het zwevend stof in de eerste kist achterblijft.

Zelfs vier kisten in serie zijn nog niet genoeg om al het zwevend stof in te vangen: daarvoor zou een cascade van meer dan 29 kisten nodig zijn geweest (Tabel 12 op pagina 52). Als we de totale hoeveelheid zwevend stof schatten aan de hand van de opbrengsten van de cascade van kisten (waarbij vanaf de vierde tot en met 29e theoretische kist wordt gerekend met 84% opbrengst ten opzichte van de voorgaande kist), dan zou er 273 gram zwevend stof in 80.000 liter water (~3 mg/l) hebben gezeten. Uitgaande van de schatting op basis van het experiment met vier kisten in serie is de schatting dat 21% van het zwevend stof in de eerste sedimentkist achterblijft.

Van het zwevend stof verzameld in de vier sedimentkisten achter elkaar zijn deeltjesgrootteverdelingen bepaald met behulp van laserdiffractie, zie Tabel 13 op pagina 56. Als grotere deeltjes beter zouden worden gevangen door de eerste sedimentkist, zal het zwevend stof dat in de opvolgende sedimentkisten wordt bemonsterd minder van deze grotere deeltjes bevatten. De deeltjesgrootteverdelingen van de vier kisten achter elkaar laten zien dat de deeltjesgrootteverdelingen van de vier kisten in serie niet ingrijpend veranderd. De deeltjesgrootte verdelingen overlappen grotendeels. Er is een minimale verschuiving naar kleinere deeltjesgroottes zichtbaar: In de eerste sedimentkist is 90% van de zwevend stof massa kleiner dan 62,5 µm, voor de vierde kist is 90% van de zwevend stof massa kleiner dan 51,7 µm. Dit geeft een indicatie dat de sedimentkisten een iets betere retentie hebben voor de wat grotere deeltjes.

Van het zwevend stof verzameld in twee sedimentkisten achter elkaar is ook de microplastics concentratie bepaald. Dit is gedaan voor vier sets van twee kisten in serie, zie Tabel 14 op pagina 57. Als een bepaalde plastic een betere retentie heeft in een sedimentkist, zal deze in de tweede kist minder worden aangetroffen. Mogelijk is dit het geval voor PP. Voor de andere microplastics kunnen er op basis van deze data nog geen reproduceerbare verschillen tussen de microplastics gehalten in een eerste en tweede kist worden aangetoond.

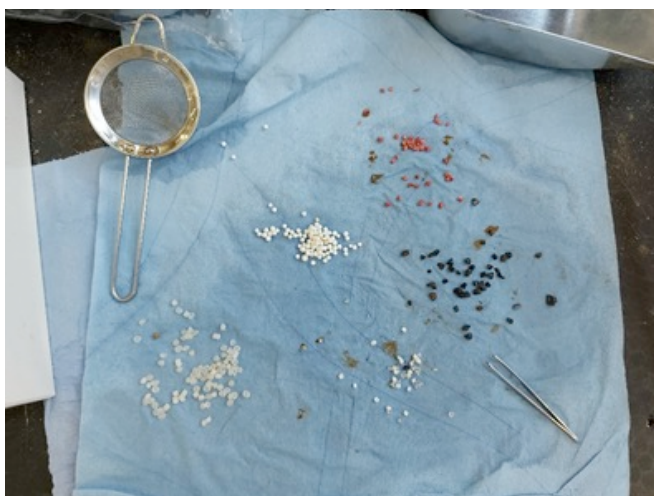
Conclusie: Afhankelijk van de omstandigheden, wordt 10 tot 35% van het zwevend stof uit het rivierwater in een sedimentkist gevangen. Van dit ingevangen materiaal kan microplastics concentratie in g/kg worden bepaald. Om met deze gegevens

vervolgens een microplastics vracht te kunnen berekenen is ook het gehalte zwevend stof in het oppervlakte water nodig in g/L. Door de variërende opbrengst van de kisten is deze bemonsteringsmethode niet erg geschikt voor de bepaling van het zwevend stof gehalte in de rivier. Om toch een vracht te kunnen berekenen, kan gebruik gemaakt worden van de zwevend stof bepalingen die al voor het MWTL programma worden uitgevoerd met behulp van de doorstroomcentrifuge.

Terugvinding van in de kist geadderde onzichtbare en zichtbare microplastics

Na een aantal maanden bemonsteren in Rotterdam, bleek de opbrengst in de sedimentkisten uit zeer fijn materiaal te bestaan, waarin geen zichtbare microplastics aanwezig waren. Dat maakt het mogelijk om een experiment te doen door zichtbare microplastics toe te voegen, om die vervolgens na afloop van de bemonstering weer te tellen, zonder last te hebben van storingen van in het rivierwater aanwezige microplastics met dezelfde afmetingen:

Figuur 11 Na 14 dagen bemonsteren worden zichtbare microplastics geteld, die sinds toevoeging op dag 1 en dag 7 in de sedimentkist zijn gebleven.



Aan periode zijn 100 microplastics met een grootte van enkele mm (verschillende soorten in duidelijk verschillende kleuren) toegevoegd in de sedimentkist. Aan het einde van de bemonsteringsperiode zijn de resterende microplastics geteld (zie Figuur 11 hierboven en Tabel 15 op pagina 57). Hieruit bleek dat grote, zichtbare microplastics – onafhankelijk van het soortelijk gewicht - voor meer dan 90 % in de sedimentkist achterblijven.

Een soortgelijk experiment is uitgevoerd met een bekend gewicht van diverse kleinere (~0,1 mm) microplastics die niet meer met het blote oog teruggevonden kunnen worden. Aan de start en halverwege de bemonstering is een bekend gewicht van deze kleine plastics toegevoegd in een sedimentkist. In dezelfde periode werd met een andere sedimentkist zonder additie bemonsterd. Na afloop werden de hoeveelheden microplastics in de kisten bepaald met

behulp van TED GC-MS. (zie Tabel 18 op pagina 59). Na een bemonsteringsperiode van 7 of 14 dagen bleven kleine PE deeltjes (~0,1 mm) (lichter dan water) slechts gedeeltelijk (~20%) achter in de kist. Kleine PMMA deeltjes (zwaarder dan water) bleven waarschijnlijk voor meer dan 90% achter in de kist, maar omdat de meting van PMMA een grotere meetonzekerheid heeft, is op basis van deze meting geen nauwkeurig percentage aan te geven.

Conclusie: Weliswaar blijft niet al het zwevend stof achter in een sedimentkist, maar na 14 dagen bemonsteren zijn er -zowel van de grote als kleine microplastics – nog deeltjes aanwezig in de kist, die op dag 1 in de kist terecht kwamen.

Robuustheid

De eerste uitdaging qua robuustheid van de bemonstering, is de natuurlijke variatie van de hoeveelheid zwevend stof in de Nederlandse rivieren. Afhankelijk van jaargetijde, regenval en locatie, varieert in Nederland de hoeveelheid zwevend stof van 1 en 500 mg per liter. In het eerste geval zal je voor 1 gram zwevend stof minimaal 1000 liter moeten bemonsteren. In het tweede geval wordt het risico op verstopping of op doorbraak van de bemonsteringsopstelling groter bij monsternamen van een groot volume. Vanuit praktische overwegingen is er een voorkeur om in alle situaties een vast volume te bemonsteren, omdat de actuele hoeveelheid zwevend stof bij monsternamen niet bekend is.

In Lobith en Eijsden is er in het eerste kwartaal maandelijks 0,2 miljoen liter water door iedere kist gepompt, voor het nemen van een representatief zwevend stof monster. In het begin van het jaar was het water zeer helder, waardoor het bij de reguliere bemonstering van zwevend stof voor MWTL met een centrifuge lang duurde om voldoende materiaal te verzamelen. Toch zat er in de kisten voldoende materiaal voor meerdere analyses. RWS streeft naar de monsternamen van tenminste 5 gram zwevend stof, in verband met de monstervoorbehandeling (homogeniteit van het monster) voor de TED GC-MS analyse. Uit het gehomogeniseerde monster wordt – afhankelijk van de hoeveelheid anorganisch materiaal - een deelmonster van 20 tot 200 mg genomen voor de TED GC-MS analyse.

Een tweede uitdaging qua robuustheid van de bemonstering, zijn de weersomstandigheden. Zowel bij turbulent weer (storm en extreem hoge debieten) als extreme vrieskou hebben de installaties hun degelijkheid bewezen. Desondanks zijn bemonsteringen ook enkele malen onderbroken geweest: Tijdens de vrieskou in het eerste kwartaal van 2021, viel in Eijsden de stroom uit, waardoor het stilstaande water in de roestvrijstalen leidingen bevroor. Toen het systeem weer stroom kreeg, schakelde het zichzelf uit door de blokkade van de leidingen. Bij Lobith staakte de installatie de bemonstering pas in de laatste nacht van de extreme kou. Uit de gegevens van de datalogger – waarmee we borgen dat de pomp niet is uitgevallen gedurende een maand onbemand bemonsteren – bleek dat op het allerlaatste moment (7 uur 's ochtends) te zijn.

Door aan- en afvoerleidingen van de kist te isoleren, is de installatie eenvoudig nog beter bestand te maken tegen vrieskou.

Tijdens extreem hoog water is in Eijsden uit voorzorg de microplastic bemonstering onderbroken, toen ook de reguliere bemonsteringsarm werd ingetrokken. In augustus 2022 is de bemonstering in Lobith uit voorzorg onderbroken door extreem laag water.

Een derde uitdaging voor de bemonstering ligt in slijtage of storingen. Na ongeveer een jaar constant gebruik vallen de gebruikte pompen uit. Als de huidige pompen ingezet gaan worden voor routinematige monitoring, dan is het verstandig om de pompen preventief ieder jaar te vangen. De kosten voor een nieuwe pomp wegen op tegen het risico op het verlies van een monster door het uitvallen van een pomp. Daarnaast vertoonden de roestvrijstalen slangen, die het water vanaf de pomp naar de kist transporteren, na ongeveer 1,5 jaar slijtage. Ook deze zouden jaarlijks preventief vervangen kunnen worden. Verder zijn er gedurende het jaar enkele elektronische storingen geweest, die snel konden worden verholpen.

Roestvorming van de sedimentkisten blijkt een probleem te zijn. In Rotterdam, waar sprake is van licht brak water, werd dit binnen een paar maanden geconstateerd. Na een jaar werd ook in Lobith roest in de sedimentkisten opgemerkt. Om de roestvorming te voorkomen zijn de bemonsteringsopstellingen voorzien van een zinkelektrode, maar ondanks deze elektrode blijven de sedimentkisten, met name bij gebruik in licht brak water, roesten. Afhankelijk van de bemonsteringslocatie zouden de sedimentkisten dus ook met enige regelmaat vervangen of gerepareerd moeten worden.

5 Samenstelling van het watersysteem

Naast de prestatiekenmerken van de bemonsteringsopstellingen is er tijdens korte, verkennende “guerrilla” onderzoeken ook gekeken naar de samenstelling van het watersysteem. In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze onderzoeken beschreven.

5.1 Deeltjesgrootteverdeling van het bemonsterde zwevend stof

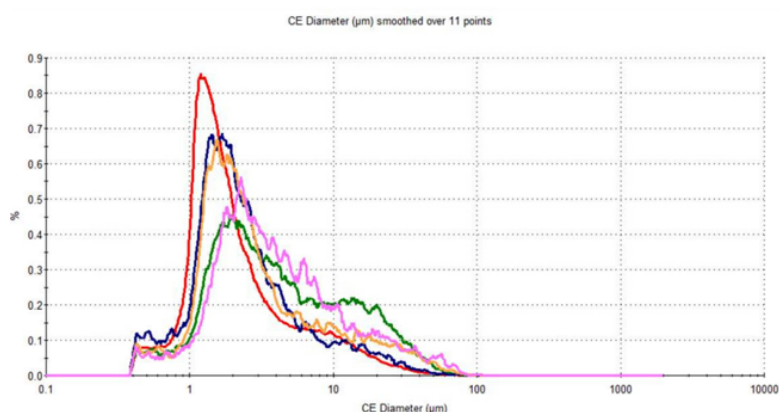
Tijdens de guerrilla onderzoeken zijn een groot aantal zwevend stof monsters verzameld op drie verschillende locaties, gedurende verschillende periodes. Om te onderzoeken welke deeltjesgroottes worden bemonsterd, zijn met behulp van microscopie verschillende deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof monsters uit Lobith, Rotterdam en Eijsden bepaald (zie Bijlage 2).

Figuur 12 geeft de deeltjesgrootteverdelingen op basis van aantallen deeltjes voor vijf zwevend stof monsters uit Rotterdam, Lobith en Eijsden. De rode curve in Figuur 12 is gebaseerd op een meting van circa 50,000 deeltjes. De andere curves zijn gebaseerd op minder dan 10,000 deeltjes, waardoor de signaal ruis verhouding en de betrouwbaarheid van de deeltjesgrootteverdeling van de rode curve beter is.

Uit de deeltjesgrootteverdelingen van met een sedimentkist in Rotterdam, Eijsden en Lobith bemonsterd zwevend stof (Figuur 12) blijkt:

- Ondanks verschillende monsternamelocaties en andere bemonsteringsperiodes, vertonen de deeltjesgrootteverdelingen grote overeenkomsten:
- Het maximum van de zwevend stof deeltjesgrootteverdelingen (“de meest voorkomende deeltjesgrootte”: de top van de curve) ligt dicht bij elkaar en 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). Ook hier is het verschil tussen de deeltjesgrootteverdelingen klein.
- Afhankelijk van de locatie is minder dan 10% van de deeltjes groter dan 8,8 (Rotterdam mei 2021) tot 20 μm (Eijsden)
- Procentueel is in alle monsters het aantal deeltjes groter dan 0,3 mm verwaarloosbaar.
- Als we op zoek gaan naar de eigenschappen van een “representatief zwevend stof monster”, dan zouden we in eerste instantie de kleinste 10% en de grootste 10% van de deeltjes buiten beschouwing kunnen laten:

Figuur 12 Deeltjesgrootteverdeling van aantallen deeltjes met een diameter tussen 0,5 en 100 μm van zwevend stof bemonsterd met een sedimentkist.



Monster:	Monstercode:	Legenda lijnkleur:	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)
Rotterdam, mei 2021	RDM k.4.6	Rood	1.0	1.7	8.3
Rotterdam, maart 2021	RDM k.3.2	Groen	1.2	3.5	19.7
Lobith, juli 2021	Lob_280721_VD	Blauw	1.0	2.0	8.8
Lobith, december 2020	Lob_161220_VD	Oranje	1.1	2.3	15.3
Eijsden, februari 2021	Eij_100221_VD	Roze	1.3	3.4	18.3

Representatieve bemonstering van zwevend stof voor een analyse van aantallen deeltjes (microplastics) op deze locaties zou zich kunnen richten op de zwevend stof fractie van 1 tot 20 µm.

Daarmee is natuurlijk niet gezegd dat de deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof en van microplastics overeenkomen. De microplastics vormen een deelverzameling van het zwevend stof. Zolang de deelverzameling (aantal microplastics van een bepaalde grootte) in een zwevend stof monster, niet groter is dan de totale verzameling (het aantal zwevend stof deeltjes van diezelfde grootte), is in theorie elke microplastics grootteverdeling mogelijk. En als zwevend stof kleiner dan 20 µm niet wordt bemonsterd, bijvoorbeeld om vroegtijdige verstopping van een filter- of zeefcascade te voorkomen, dan is het genomen monster wat deeltjesgrootteverdeling betreft op zijn best alleen nog maar representatief voor een zeer klein deel van het aantal zwevend stof deeltjes in een rivier, omdat het grootste deel van het zwevend stof kleiner is dan 20 µm.

Omdat het volume en de massa van een deeltje evenredig zijn met r³, weegt 1 deeltje met een diameter van 1 mm net zo veel als 1 miljard deeltjes met een diameter van 1 µm. Voor pyrolyse GC-MS metingen, waaronder de analyse methode die RWS gebruikt in dit project, is de deeltjesgrootteverdeling op basis van volume (zie Bijlage 2) belangrijker dan de deeltjesgrootteverdeling op basis van aantallen, omdat deze methode microplastic concentraties op basis van massa geeft.

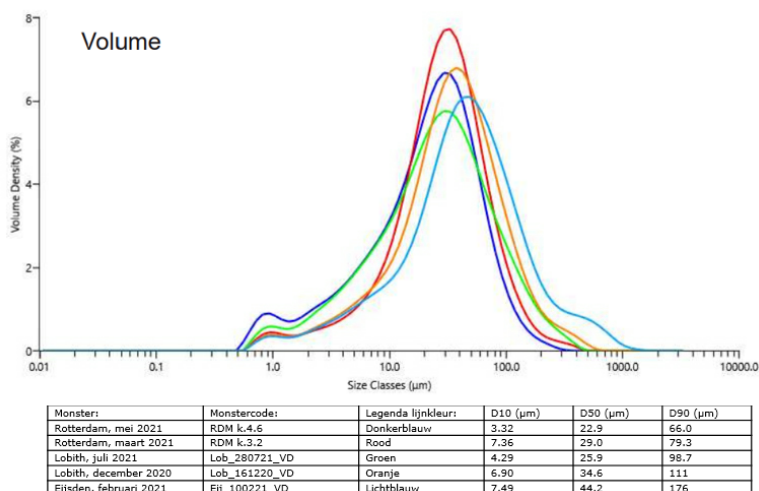
Figuur 13 toont de deeltjesgrootteverdeling op basis van volume, van dezelfde monsters als de deeltjesgrootteverdeling op basis van aantallen in Figuur 12. Omdat een groter deeltje meer bijdraagt aan het totale volume van alle deeltjes, ligt het maximum van de curves in Figuur 13 bij een grotere diameter dan het maximum van de curves in Figuur 12.

Voor de deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof uit Lobith, Eijsden en Rotterdam op basis van volume/massa 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 44 µm (Eijsden)
- 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 eerste benadering van representatief zwevend stof monster voor deze locaties, dan geldt:

Representatieve bemonstering van zwevend stof (waaronder microplastics) op deze locaties zou zich voor een massameting kunnen richten op de zwevend stof fractie van 3 tot 176 µm.

Figuur 13 Deeltjesgrootteverdeling (volume) van zwevend stof bemonsterd met een sedimentkist.



5.2 Invloed van de bemonsteringsdiepte

De hoeveelheid microplastics die per tijdseenheid door een rivier verplaatst wordt, is het product van:

- het debiet (de hoeveelheid water per tijdseenheid (m^3)/uur) van de rivier
- de hoeveelheid zwevend stof (g/m^3) in het water
- de microplastics concentraties in zwevend stof (g/kg)

Onderzocht is in welke mate de laatste 2 van deze 3 factoren afhankelijk zijn van de diepte waarop microplastics bemonsterd worden. De guerrilla studie naar de invloed van de bemonsteringsdiepte is uitgevoerd in een inham van de rivier (RDM dok in Rotterdam). Ten opzichte van de reguliere MWTL locaties is dit een relatief afgeschermd locatie, alhoewel er door passerende schepen, eb en vloed en tijdens stormen wel degelijk stroming en (forse) golven zijn op deze locatie.

Om de invloed van het moment van monsternamen uit te sluiten bij het onderzoek naar de invloed van de bemonsteringsdiepte, is er tegelijkertijd op twee verschillende dieptes bemonsterd. Zie Figuur 5 voor foto's van de gebruikte bemonsteringsopstellingen (Type 2 en type 3).

5.2.1 Hoeveelheid zwevend stof vs. bemonsteringsdiepte

Figuur 14 laat zien dat de hoeveelheid zwevend stof in het RDM dok toeneemt met de diepte. Voor 50 en 80 cm geldt dat de toename van de hoeveelheid zwevend stof groter is dan de spreiding van de metingen. Door het kleine aantal meetgegevens en omdat de spreiding van de meetgegevens toeneemt bij grotere dieptever verschillen, durven we op dit moment nog geen correlatie te berekenen. Daarvoor is meer onderzoek nodig.

Het is aannemelijk dat de zwevend stof verdeling over de diepte van een rivier afhangt van het stromingsprofiel op een bemonsteringslocatie. Bovendien is de Rijn meestal dieper dan 3 meter en weten niet hoe en in welke mate de hoeveelheid zwevend stof verder toeneemt met de diepte. Voor eventuele vrachtberekeningen is het belangrijk om op meerdere locaties de verticale verdeling van zwevend stof te meten, om dit vast te stellen.

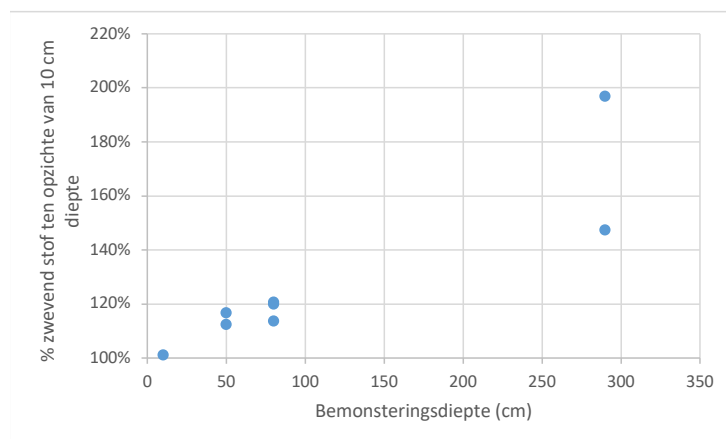
5.2.2 Microplastics concentraties vs. bemonsteringsdiepte

In het zwevend stof dat in het RDM dok op 10, 50, 80 en 290 cm diepte is bemonsterd zijn ook de microplastics concentraties bepaald met behulp van TED GC-MS, zie Tabel 17 op pagina 59. Omdat er gelijktijdig is bemonsterd op meerdere dieptes, is variatie in de tijd uitgesloten.

De gemiddelde verhouding tussen de microplastics concentraties van monsters genomen op verschillende dieptes is gegeven in Tabel 18 in de Bijlage 1. In theorie, of bij een voldoende grote dataset, zou de verhouding van microplastics concentraties in gelijktijdig op dezelfde diepte (10 cm) bemonsterd zwevend stof 1 moeten zijn. Dat is niet het geval. Als de microplastics concentraties in het zwevend stof van twee sedimentkisten, die gelijktijdig op dezelfde diepte (10 cm) zijn bemonsterd, worden vergeleken dan varieert de verhouding van 0,6 tot 1,9. Deze spreiding wordt veroorzaakt door de horizontale variatie in de rivier, bemonstering en analyse.

Zowel voor PE als SBR (de microplastics die in de hoogste concentraties voorkomen en daardoor het meest nauwkeurig te meten zijn) ligt de gemiddelde verhouding van de concentraties op 80 of 290 cm ten opzichte van de concentratie op 10 cm diepte rond de 1.

Figuur 14 Relatieve hoeveelheid zwevend stof (in%) op grotere diepte, ten opzichte van 10 cm.



Bij lage concentraties vlak boven de detectiegrens liggen (PS, NR en PMMA) is de variatie in de verhouding veel groter als gevolg van de meetonzekerheid. Wordt er in 2 monsters vlak boven de detectiegrens 0,001 en 0,002 g/kg gemeten, dan liggen die waardes heel dicht bij elkaar, maar is de concentratieverhouding afhankelijk van de willekeurige keuze van het referentiemonster 0,5 of 2.

Voor een betrouwbare schatting zijn meer gegevens nodig, want bij het delen van twee concentraties moet de relatieve meetonzekerheid van beide concentraties bij elkaar opgeteld worden. Bij een herhaalbaarheid met een RSD van 20% voor de microplastics analyse, neemt de RSD van het quotiënt van twee microplastics concentraties toe tot 40%.

De diepte van de Rijn kan variëren tot 15 meter. Mogelijk neemt de hoeveelheid zwevend stof nog verder toe bij grotere diepte. Dat zou een significante invloed op de vrachtberekening betekenen. Daarom wordt aanbevolen om de microplastics metingen in eerste instantie te beperken tot trendberekening voor een aantal vaste bemonsteringslocaties met een vaste diepte. Nadat de invloed van de diepte op dit beperkte aantal MWTL locaties experimenteel is vastgesteld, kan microplastics monitoring en de berekening van vrachten plaatsvinden.

Conclusie: Waarschijnlijk zijn microplastics concentraties in zwevend stof onafhankelijk van de bemonsteringsdiepte. Zowel de lichtere plastics (PE) als de zwaardere plastics (SBR) worden in gelijkwaardige concentraties gevonden tussen 10 cm en 290 cm diepte. Zelfs de microplastics concentraties in het sediment op deze locatie (zie Tabel 18) komen overeen met microplastics concentraties in zwevend stof. Alleen PS en NR worden in sediment minder gevonden dan in zwevend stof.

5.2.3 Absolute hoeveelheid microplastics vs. diepte

Omdat de hoeveelheid zwevend stof toeneemt met de bemonsteringsdiepte en de microplastics concentraties in zwevend stof waarschijnlijk constant blijven bij verschillende monsternamedieptes, neemt de absolute hoeveelheid (in kg) microplastics op de monsternamelocatie in Rotterdam toe met de diepte. Het RDM dok in Rotterdam is een inham met relatief stilstaand water ten opzichte van de rivier, en daarmee mogelijk niet representatief voor de MWTL bemonsteringslocaties in de Rijn en Maas. Of de hoeveelheid zwevend stof toeneemt bij grotere diepte op de MWTL locaties, zal verder onderzocht moeten worden.

5.2.4 Drijvende microplastics

Het is de vraag of drijvende microplastics bemonsterd moeten worden, om een monster te krijgen dat representatief is voor rivierwater. Als er veel of veel grote microplastics in de drijfslaag zitten, dan zou dat zo kunnen zijn.

Bij de start van dit onderzoek lag de focus op het vaststellen van microplastics concentraties in de bulk van het rivierwater. 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 (zie Tabel 17 en Tabel 18). 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 te vinden, zo blijkt uit door de Plastic Soup Foundation gepubliceerd onderzoek (Plastic-Soup-Foundation, 2021).

Tijdens een kort guerrilla onderzoek is tevergeefs geprobeerd om met de opstelling met dompelpomp drijvende microplastics te bemonsteren. Door het aanzuigen van grote hoeveelheden lucht traden er storingen op in de pomp. Voor de bemonstering van drijvende microplastics zal een andere bemonsteringsmethode moeten worden onderzocht, zoals bijvoorbeeld een larvennet.

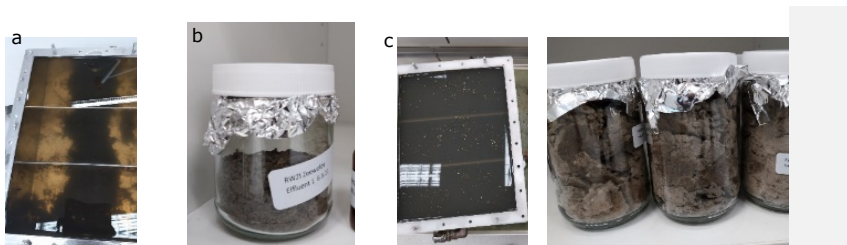
5.3 Bemonstering van afvalwaterzuiveringsinstallaties

Afvalwaterinstallaties zijn mogelijk belangrijke bronnen van microplastics in de oppervlaktewater. Voor handhaving zijn betrouwbare analyses van microplastics in afvalwater en zuiverings-slib belangrijk voor RWS. Er zijn geen commerciële partijen met een gevalideerde methode voor de analyse van microplastics in afvalwater en zuiveringsslib. Belangrijk pluspunt van bemonstering met een sedimentkist is dat ook de kleinere microplastics tot 1 µm meegenomen worden.

In samenwerking met Waterschap Zuiderzeeland en Aqualysis is er in 2021 een korte guerrilla studie uitgevoerd naar de bemonstering van influent en effluent bij twee afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI). Het doel van deze samenwerking was om te testen of de bemonsteringsmethode met sedimentkisten die RWS gebruikt voor de bemonstering van zwevend stof in oppervlaktewater ook geschikt is voor het tijds geïntegreerd bemonsteren van influent en effluent op AWZI's voor een microplastics analyse.

Op AWZI Zeewolde is zowel influent als effluent bemonsterd met de sedimentkist (zie Tabel 19 op pagina 61). De bemonstering van het effluent verliep zonder problemen (Figuur 15a en b). De bemonsterde hoeveelheid effluent is vergelijkbaar in opeenvolgende periodes. Bij bemonstering met grotere tussenpozen fluctueert de in een week opgevangen hoeveelheid ingevangen materiaal wel.

Figuur 15 Foto's van bemonsterd effluent (a en b) en influent (c en d) van een AWZI.



Door het hoge gehalte zwevend materiaal lijkt de sedimentkist minder geschikt voor het continu bemonsteren van influent (Figuur 15 c en d hierboven): De pomp stopt regelmatig door verstopping en de sedimentkist zit al snel vol (~1 dag). Langer dan 1 dag bemonsteren leidt er hoogstwaarschijnlijk toe dat het verzamelde materiaal de kist weer wordt uitgedrukt. In vergelijking met zwevend stof is het bemonsterde materiaal veel grover en minder homogeen. Dit maakt het lastig te bepalen of / voor welke periode het materiaal in de kist representatief is.

Om het microplastics gehalte in het effluent en influent toch met elkaar te kunnen vergelijken is er voor gekozen om gedurende een periode van 1 week continu effluent te bemonsteren en in dezelfde periode voor het influent 2 bemonsteringen van 24 uur uit te voeren. De twee influent monsters zijn samengevoegd tot een mengmonster.

Naast AWZI Zeewolde is er ook op het AWZI in Almere bemonsterd. Door praktische problemen bij plaatsing van de sedimentkist in de influent opstelling is in Almere uiteindelijk alleen effluent bemonsterd. Dit is gedaan voor drie achtereenvolgende periodes van een week. De hoeveelheid ingevangen materiaal gedurende deze drie periodes is erg vergelijkbaar (RSD 3 %).

Samenvattend is de conclusie dat tijd geïntegreerde bemonstering van huishoudelijk afvalwater met een sedimentkist, gevolgd door meting van microplastics met TED GC-MS niet eenvoudig zal zijn. Aantonen dat het genomen monster representatief is voor de influent en dat bovendien een deelmonster van een aantal microgram voor de TED GC-MS analyse representatief is voor het bemonsterde materiaal, zal aanvullend gevalideerd moeten worden als iemand deze methode toe wil passen.

6 Conclusie

Op dit moment is er nog geen bemonsteringsmethode die op alle door RWS gehanteerde criteria voor representativiteit en robuustheid is gevalideerd.

Een sedimentkist voldoet op de meeste criteria, maar omdat het een open systeem zonder fysieke barrière is, blijven niet alle deeltjes in de kist achter ("retentie").

Met name de kleinere zwevend stof deeltjes worden niet volledig bemonsterd. Mogelijk is met behulp van een andere bemonsteringsmethode (cascade van filters) een relatie vast te stellen, waardoor ook de retentie van de sedimentkist gevalideerd kan worden.

Bemonstering met een sedimentkist bij een constante pompsnelheid van 4 l/min maakt het mogelijk om:

- Zonder storingen gedurende een maand (Lobith en Eijsden) met een pompsnelheid van 4 l/min zwevend stof te bemonsteren uit ~80.000 liter water dat door de kist wordt gepompt.
- Monsters te nemen met een goede herhaalbaarheid (Rotterdam: RSD gemiddeld 5% na 2 weken bemonsteren met 4 l/min).
- Het volledige groottebereik van microplastics (0,1 µm tot 5 mm) zwevend stof kan worden bemonsterd met een sedimentkist of een doorstroomcentrifuge.
- Bij een lagere pompsnelheid (1 l/min), is de absolute opbrengst aan zwevend stof in een sedimentkist lager dan bij een hoge pompsnelheid (8 l/min). Maar de hoeveelheid opgevangen zwevend stof per liter water is hoger bij een lagere pompsnelheid.
- Omdat zowel de absolute hoeveelheid als het percentage van het zwevend stof dat in een kist achterblijft, afhankelijk zijn van de snelheid waarmee het water door de kist stroomt, is een identieke, constante pompsnelheid op alle locaties noodzakelijk om de monsters te kunnen gebruiken voor monitoring.
- Zelfs bij een constante stroomsnelheid in de kist, varieert op een locatie per periode het % zwevend stof in het rivierwater dat in een sedimentkist achterblijft. Dit percentage kan geschat worden met behulp de opbrengst van een tweede kist, die achter de eerste wordt geplaatst. Mogelijk geeft deze methode echter een onderschatting. Voor MWTL wordt de concentratie zwevend stof op bijvoorbeeld Lobith en Eijsden dagelijks gemeten. Daarom zullen microplastics vrachten op die locaties berekend worden op de in MWTL gemeten zwevend stof concentraties.

- De samenstelling van het zwevend stof (deeltjesgrootteverdeling en microplastics samenstelling) wordt niet ingrijpend veranderd door een sedimentkist. RWS heeft geen grote verschillen in deeltjesamenstelling en plastics concentraties vast kunnen stellen tussen de inhoud van de eerste en tweede kist die achter elkaar waren geplaatst. Met behulp van een cascade van zeven achter een sedimentkist werd aangetoond dat er vrijwel geen microplastics groter dan 300 µm aan een sedimentkist ontsnappen.
- Een sedimentkist is beter in staat om gedurende lange tijd grote microplastics vast te houden, dan kleinere microplastics. Dit is vastgesteld door een bekende hoeveelheid van in grootte en plastic samenstelling verschillende soorten microplastics op t=0 in een kist te doen en na 1 en 2 weken te bepalen hoe veel van de toegevoegde plastics in de kist zijn achtergebleven. Bij vergelijking over verschillende periodes van het % zwevend stof dat in een sedimentkist is achtergebleven, zullen de grootste verschillen in concentraties microplastics per hoeveelheden zwevend stof ontstaan bij de kleinste microplastics
- Bij langere monsternamenperiodes (bijvoorbeeld 2 weken) is de opbrengst aan zwevend stof in een sedimentkist lager dan herhaalde monsternamen in kortere periodes (2 keer een week, of 14 keer een dag)
- Ondanks het ontbreken van een fysieke barrière in een sedimentkist, is meer dan 98% van het zwevend stof (in aantallen deeltjes) dat tijdens bemonsteringen in Rotterdam en Lobith in een sedimentkist achterbleef, kleiner dan 20 µm.
- RWS heeft continue registratie van druk en pompsnelheid toegepast bij zowel de sedimentkist als de cascade van filters. Deze data worden bewaard als borging van de herleidbaarheid van de monsternamen.
- De sedimentkist is geschikt voor bemonstering van zichtbare microplastics tot 5mm grootte, maar een monsternamenvolume van 80.000 liter is te klein om een representatief monster van deze grote microplastics te nemen.
- Representatieve bemonstering van zwevend stof (inclusief microplastics) in Nederlandse rivieren, kan zich
 - Voor een massameting richten op de zwevend stof fractie van 3 tot 176 µm
 - Voor een analyse van aantallen deeltjes richten op de zwevend stof fractie van 1 tot 20 µm

Tabel 1 Door RWS CIV ingeschatte geschiktheid van verschillende bemonsteringsmethodes voor de bemonstering van zwevend stof (1 µm – 5mm) in rivieren voor een microplastics analyse

	Representativiteit			Robuustheid				
	1-100µm	0,1 – 5mm	Dichtheid	Retentie	RSD	Tijd	ZS5-500mg/l	Verstopping
Sedimentkist	+	+	+	--	++	++	+ / ++	++
Zeven	--	--	++	+?	--	--	--	--
Filters	?	?	++	+?	?	+/-	-	-
Centrifuge	+	+	+?	?	?	-	++	++
Larvennet	--	++	++	+?	+?	?	?	-

Bijlage 1: Experimentele gegevens

Tabel 3 Hoeveelheid zwevend stof in sedimentkisten na gelijktijdige bemonstering op meerdere dieptes

Serie	Kist	Diepte (cm)	Debiet (L/min)	Start	Dagen	Zwevend stof (mg/L)	Zwevend stof (g)	Herhaalbaarheid @ 10 cm RSD
Serie 1	1	10	4	23-feb-21	14	0,61	48,88	
Serie 1	3	10	4	23-feb-21	14	0,60	48,16	
Serie 1	4	10	4	23-feb-21	14	0,61	49,44	1,3%
Serie 2	1.A	10	4	9-mrt-21	14	0,52	42,11	
Serie 2	3	10	4	9-mrt-21	14	0,51	41,46	1,1%
Serie 2	4	50	4	9-mrt-21	14	0,59	47,37	
Serie 3	1.A	10	4	23-mrt-21	14	0,50	40,44	
Serie 3	3	80	4	23-mrt-21	14	0,60	48,57	
Serie 4	1.A	10	4	6-apr-21	14	0,59	47,44	
Serie 4	2.A	80	4	6-apr-21	14	0,67	53,93	
Serie 5	1.A	10	4	20-apr-21	14	0,54	43,84	
Serie 5	3	80	4	20-apr-21	14	0,66	52,91	
Serie 6+	1.A	50	4	18-mei-21	14	1,46	117,44	
Serie 6+	4	10	4	18-mei-21	14	1,25	100,56	
Serie 7	K.1.A.1	290	4	7-sep-21	14	0,85	67,00	
Serie 7	K.2.A.1	10	4	7-sep-21	14	-	-	
Serie 7	K.4.1	10	4	7-sep-21	14	0,74	58	
Serie 8	K.1.A.2	290	4	21-sep-21	14	0,73	56,63	
Serie 8	K.2.A.2	10	4	21-sep-21	14	0,49	38,41	
Serie 8	K.3.2	10	4	21-sep-21	14	0,62	43,79	9,3%
Serie12	K.4.A.6	10	4	30-nov-21	14	0,73	58,52	
Serie12	K.2.A.6	200	4	30-nov-21	14	1,64	103,49	
Serie 11	K.2.A.5	10	1	16-11-2021	14	1,27	22,74	
Serie 11	K.3.A.5	10	1	16-11-2021	14	1,26	24,10	
Serie 11	K.4.A.5	10	1	16-11-2021	14	1,05	19,16	11,6%
Serie 10	K.2.A.4	10	1	26-10-2021	14	1,21	22,56	
Serie 10	K.3.A.4	10	1	26-10-2021	14	1,24	22,77	
Serie 10	K.4.A.4	10	1	26-10-2021	14	0,90	16,38	17,6%
Serie 14	4D.1.1	10	1	14-03-2022	1	2,18	2,86	
Serie 14	4D.1.3	10	1	14-03-2022	1	1,65	2,32	14,7%
Serie 14	4D.2.3	10	1	21-03-2022	1	2,01	2,83	
Serie 14	4D.2.4	10	1	21-03-2022	1	2,85	4,25	28,4%
Serie 14	4D.3.3	10	1	22-03-2022	4	0,79	4,36	
Serie 14	4D.3.4	10	1	22-03-2022	4	0,70	3,99	6,3%
Serie 14	4D.4.2	10	1	23-03-2022	4	0,52	2,88	
Serie 14	4D.4.3	10	1	23-03-2022	4	0,39	2,21	18,6%

Gemiddelde herhaalbaarheid bij bemonstering van 14 dagen met sedimentkist op 10 cm diepte:

4 L/min: 4%

1 L/min: 15%

Gemiddelde herhaalbaarheid bij bemonstering van 1 dag met sedimentkist op 10 cm diepte:

4 L/min: 12 %

1 L/min: 22 %

Tabel 4 Zwevend stof in sedimentkisten na gelijktijdige bemonstering op 3 manieren @ 10 cm diepte in Rotterdam, RDM dok (51.898162, 4.423301)

- onafgebroken periode van 2 weken (36,4 gram zwevend stof)
- 2 keer een onafgebroken periode van 1 week (gemiddeld 23,2 gram zwevend stof, RSD=36%)
- 14 keer 24 uur (gemiddeld 3,5 gram zwevend stof, RSD=29%)

Monster code	dagen	Kist geplaatst	Kist verwijderd	Zwevend stof droog (gram)
2W.1.1	1	17-2-2022 10:05	18-2-2022 10:40	3.00
2W.1.2	1	18-2-2022 10:45	19-2-2022 10:24	4.31
2W.1.3	1	19-2-2022 11:03	20-2-2022 10:17	3.67
2W.1.4	1	20-2-2022 10:24	21-2-2022 10:22	4.10
2W.1.5	1	21-2-2022 10:25	22-2-2022 10:09	4.98
2W.1.6	1	22-2-2022 10:13	23-2-2022 10:30	4.90
2W.1.7	1	23-2-2022 10:35	24-2-2022 10:06	4.24
2W.1.8	1	24-2-2022 10:10	25-2-2022 10:44	3.70
2W.1.9	1	25-2-2022 10:48	26-2-2022 10:37	2.30
2W.1.10	1	26-2-2022 10:42	27-2-2022 10:21	2.05
2W.1.11	1	27-2-2022 10:26	28-2-2022 10:05	2.60
2W.1.12	1	28-2-2022 10:08	1-3-2022 10:50	2.73
2W.1.13	1	1-3-2022 10:55	2-3-2022 10:01	3.52
2W.1.14	1	2-3-2022 10:25	3-3-2022 09:59	2.19
2W.14.1A	14	17-2-2022 10:05	3-3-2022 09:59	36.4
2W.7.1A	7	17-2-2022 10:05	24-2-2022 10:12	29.1
2W.7.2A	7	24-2-2022 10:19	3-3-2022 09:59	15.5

De eerste week was de hoeveelheid zwevend stof in 1 kist (2W.7.1A) na 7 dagen continu bemonsteren (29,1 gram), gelijk aan de som van 7 keer achter elkaar een dag bemonsteren (2W.1.1 t/m 2W.1.7: 29,2 gram).

In de 2e week was de hoeveelheid zwevend stof in kist 2W.7.2.A (15,5 gram) 81% van de som van 7 keer achter elkaar 1 dag bemonsteren (2W.1.8 t/m 2W.1.14: 19,1 gram)

Tabel 5 Zwevend stof in sedimentkisten van 14 achtereenvolgende dagen 24 uur bemonsteren met een sedimentkist, met een pompsnelheid van 1 L/min en op een diepte van 10 cm, in Rotterdam, RDM dok (51.898162, 4.423301)

Monster code	Dagen:	Kist geplaatst:	Kist verwijderd:	Zwevend stof droog (g)
K.4.A.3	1	5-okt-21	6-okt-21	4,01
K.4.B.3	1	6-okt-21	7-okt-21	3,24
K.4.C.3	1	7-okt-21	8-okt-21	3,52
K.4.D.3	1	8-okt-21	9-okt-21	3,66
K.4.E.3	1	9-okt-21	10-okt-21	4,31
K.4.F.3	1	10-okt-21	11-okt-21	2,91
K.4.G.3	1	11-okt-21	12-okt-21	3,45
K.4.H.3	1	12-okt-21	13-okt-21	2,35
K.4.I.3	1	13-okt-21	14-okt-21	2,33
K.4.J.3	1	14-okt-21	15-okt-21	2,59
K.4.K.3	1	15-okt-21	16-okt-21	2,77
K.4.L.3	1	16-okt-21	17-okt-21	3,78
K.4.M.3	1	17-okt-21	18-okt-21	2,42
K.4.N.3	1	18-okt-21	19-okt-21	3,83

Natuurlijke variatie van zwevend stof: RSD van opeenvolgende dagelijkse bemonsteringen bij een pompsnelheid van 1 L/min: 21%

Tabel 6 Hoeveelheid zwevend stof na bemonstering met (20/100/300 µm) zeefcascades achter een sedimentkist (grijs gemarkeerd: gelijktijdige bemonstering met twee filtercascades op dezelfde monsternamediepte)

Start	Locatie	Diepte (cm)	Grootte filter (µm)	Tijdsduur (min)	Opbrengst (gr)	mg/uur	mg/L	Hoog/Laag @ 20µm
23-2-2021	Achter kist 3	10	300	20160	0,03	0,1	0,0004	
23-2-2021	Achter kist 3	10	100	20160	0,45	1,3	0,01	
10-3-2021	Achter kist 3	10	300	20160	0,02	0,1	0,0002	
10-3-2021	Achter kist 3	10	100	20160	2,31	6,9	0,03	
10-3-2021	Achter kist 4	50	300	20160	0,02	0,1	0,0002	
10-3-2021	Achter kist 4	50	100	20160	0,12	0,4	0,001	
11-3-2021	Achter kist 3	10	20	25	0.03	72	0.3	
11-3-2021	Achter kist 4	50	20	25	0.05	120	0.5	
15-3-2021	Achter kist 3	10	20	63	0.01	9.5	0.04	
15-3-2021	Achter kist 4	50	20	63	0.03	29	0.12	
18-3-2021	Achter kist 3	10	20	140	0.02	8.6	0.04	
18-3-2021	Achter kist 4	50	20	140	0.14	60	0.25	
22-3-2021	Achter kist 3	10	20	60	0.01	10	0.04	
22-3-2021	Achter kist 4	50	20	60	0.03	30	0.12	
24-3-2021	Achter kist 3	80	100	20160	2,96	8,8	0,04	
24-3-2021	Achter kist 4	80	100	20160	0,06	0,2	0,001	
25-3-2021	Achter kist 3	80	20	95	0.01	6.3	0.03	
25-3-2021	Achter kist 4	80	20	95	0.06	38	0.3	6,0
29-3-2021	Achter kist 3	80	20	60	0.07	70	0.3	
29-3-2021	Achter kist 4	80	20	60	0.02	20	0.2	3,5

Start	Locatie	Diepte (cm)	Grootte filter (µm)	Tijdsduur (min)	Opbrengst (gr)	mg/uur	mg/L	Hoog/Laag @ 20µm
1-4-2021	Achter kist 3	80	20	61	0.02	20	0.08	
1-4-2021	Achter kist 4	80	20	61	0.01	9.8	0.08	2,0
7-4-2021	Achter kist 3	10	100	20160	0,14	0,4	0,01	
7-4-2021	Achter kist 4	10	300	20160	0,02	0,1	0,0005	
7-4-2021	Achter kist 4	10	100	20160	0,14	0,4	0,003	
15-4-2021	Achter kist 3	10	20	115	0.06	31	0.52	
15-4-2021	Achter kist 4	10	20	115	0.08	42	0.35	1,5
19-4-2021	Achter kist 3	10	20	120	0.03	15	0.25	
19-4-2021	Achter kist 4	10	20	120	0.04	20	0.17	1,3
20-4-2021	Achter kist 3	80	300	20160	0,03	0,1	0,0004	
20-4-2021	Achter kist 3	80	100	20160	0,6	1,9	0,01	
20-4-2021	Achter kist 4	80	100	20160	0,7	2,2	0,005	
21-4-2021	Achter kist 4	80	20	13	0.01	46	0.1	
22-4-2021	Achter kist 3	80	20	17	0.02	71	0.3	
30-4-2021	Achter kist 3	80	20	10	0.08	480	2	
30-4-2021	Achter kist 4	80	20	10	0.12	720	1.5	1,3

Tabel 7 Deeltjesgrootteverdelingen van zwevend stof na monstername met een doorstroomcentrifuge en een sedimentkist

Locatie:	Datum:	Methode:	d (0.1) (µm)	d (0.5) (µm)	d (0.9) (µm)
EijsdenPTN	13-01-2021 t/m 10-02-2021	Sedimentkist	7,5	44,2	177
EijsdenPTN	2-10-2021	Centrifuge	3,5	19,8	47,6
Eijsden PTN	14-10-2021	Centrifuge	3,4	19,0	49,2
EijsdenPTN	4-11-2021	Centrifuge	3,3	21,1	56,9
Lobith PTN	29-06-2021 t/m 27-08-2021	Sedimentkist	4,3	25,9	98,8
Lobith PTN	18-11-2020 t/m 16-12-2020	Sedimentkist	6,9	35,1	116
Lobith PTN	24-09-2021	Centrifuge	3,2	14,8	41,2
Lobith PTN	13-10-2021	Centrifuge	3,0	14,7	44,2
Lobith PTN	22-10-2021	Centrifuge	2,5	12,4	44,0

Tabel 8 Microplastics concentraties in zwevend stof uit Lobith na bemonstering met een sedimentkist en een doorstroomcentrifuge

Sample	Methode:	Start	Eind	Diepte	PE	PP	PET	SBR	NR	PS	PA	PMMA	Som	Som	%PE SBR
kist av flow:1165 m ³ /s	Sedimentkist	18-nov-20	16-dec-20	10	1,9	0,06	<LOD	0,19	0,06	0,12	0,01	0,09	2,4	78%	86%
kist av flow: 1850 m ³ /s	Sedimentkist	16-dec-20	13-jan-21	10	1,6	0,05	<LOD	0,19	0,03	0,09	<LOD	0,09	2,1	78%	87%
kist av flow: 1684m ³ /s	Sedimentkist	7-apr-21	3-mei-21	10	1,6	0,05	<0,02	0,10	0,04	0,02	<LOD	<LOD	1,8	88%	94%
kist av flow 2220m ³ /s	Sedimentkist	2-jun-21	29-jun-21	10	1,5	0,07	<LOD	0,15	0,04	0,02	0,01	0,14	1,9	78%	85%
centrifuge flow 2250 m ³ /s	Centrifuge	9-jun-21	9-jun-21	100	1,5	0,11	<LOD	0,30	0,03	0,03	<LOD	<LOD	2,1	73%	88%
centrifuge flow 2040 m ³ /s	Centrifuge	23-jun-21	23-jun-21	100	1,5	0,13	<LOD	0,27	0,03	0,02	<LOD	<LOD	2,0	77%	91%
kist av flow 3800m ³ /s	Sedimentkist	29-jun-21	28-jul-21	10	1,4	0,06	<LOD	0,19	0,02	0,03	0,01	0,11	1,8	77%	87%

Tabel 9 Hoeveelheid verzameld zwevend stof met behulp van een sedimentkist, met verschillende pompsnelheden. De laatste kolom geeft het percentage aan zwevend stof gevonden in een tweede sedimentkist die achter een eerste kist was geplaatst.

Kist	Kist in serie	Debiet (L/min)	Start	Zwevend stof (mg/L)	Zwevend stof totaal (g)	% t.o.v. van voorgaande kist
2.A	A	8	23-feb-21	0,34	55,49	
2.B	B	8	23-feb-21	0,24	39,48	71%
1.A	A	4	9-mrt-21	0,52	42,11	
1.B	B	4	9-mrt-21	0,31	25,38	60%
2.A	A	2	9-mrt-21	0,54	21,78	
2.B	B	2	9-mrt-21	0,33	13,33	61%
1.A	A	4	23-mrt-21	0,50	40,44	
1.B	B	4	23-mrt-21	0,31	24,84	61%
1.A	A	4	6-apr-21	0,59	47,44	
1.B	B	4	6-apr-21	0,38	30,73	65%
1.A	A	4	20-apr-21	0,54	43,84	
1.B	B	4	20-apr-21	0,37	29,96	68%
2.A	A	1	20-apr-21	1,28	25,71	
2.B	B	1	20-apr-21	0,58	11,70	46%
K.2.A.1	A	4	7-sep-21	-	34,31	
K.2.B.1	B	4	7-sep-21	0,30	19,00	55%
K.2.A.2	A	4	21-sep-21	0,49	38,41	
K.2.B.2	B	4	21-sep-21	0,29	22,85	59%
K.2.A.3	A	1	5-okt-21	1,62	31,78	
K.2.B.3	B	1	5-okt-21	1,25	24,65	78%
K.2.A.4	A	1	26-okt-21	1,21	23,66	
K.2.B.4	B	1	26-okt-21	0,67	13,00	55%
K.3.A.4	A	1	26-okt-21	1,24	22,77	
K.3.B.4	B	1	26-okt-21	0,78	14,37	63%
K.2.A.5	A	1	16-nov-21	1,27	23,82	
K.2.B.5	B	1	16-nov-21	0,54	10,25	43%
K.3.A.5	A	1	16-nov-21	1,26	24,10	
K.3.B.5	B	1	16-nov-21	0,65	12,38	51%
K.4.A.5	A	1	16-nov-21	1,05	20,28	

Debiet:	Gemiddelde % t.o.v. vorige kist
1 L/min	56% (RSD=32%, n=6)
2 L/min	61% (n=1)
4 L/min	62% (RSD = 7%, n=7)
8 L/min	71% (n=1)

Kist	Kist in serie	Debiet (L/min)	Start	Zwevend stof (mg/L)	Zwevend stof totaal (g)	% t.o.v. van voorgaande kist
K.4.B.5	B	1	16-nov-21	0,83	16,09	79%
K.4.A.6	A	4	30-nov-21	0,73	58,06	
K.4.B.6	B	4	30-nov-21	0,46	38,65	67%
K.4.C.6	C	4	30-nov-21	0,34	28,38	73%
K.4.D.6	D	4	30-nov-21	0,30	23,92	84%
2W.14.1A	A	1	17-feb-22	1,81	36,40	
2W.14.1B	B	1	17-feb-22	0,70	14,04	39%

Tabel 10 Hoeveelheid ingevangen zwevend stof in een experiment met vier sedimentkisten achter elkaar

4 kisten in serie		van 30-11-21 tot 14-12-21	
Kist	gram	t.o.v. vorige kist	t.o.v. vorige opbrengst
4A	58.1		
4B	38.7	67%	
4C	28.4	73%	110%
4D	23.9	84%	115%

Tabel 11 Verzamelde hoeveelheid zwevend stof na bemonstering met 2 kisten in serie

Kist	Kist in serie	Debiet (L/min)	Start	Zwevend stof (mg/L)	Zwevend stof totaal (g)	% t.o.v. van voorgaande kist
2.A	A	8	23-feb-21	0,34	55,49	
2.B	B	8	23-feb-21	0,24	39,48	71%
1.A	A	4	9-mrt-21	0,52	42,11	
1.B	B	4	9-mrt-21	0,31	25,38	60%
2.A	A	2	9-mrt-21	0,54	21,78	
2.B	B	2	9-mrt-21	0,33	13,33	61%
1.A	A	4	23-mrt-21	0,50	40,44	
1.B	B	4	23-mrt-21	0,31	24,84	61%
1.A	A	4	6-apr-21	0,59	47,44	
1.B	B	4	6-apr-21	0,38	30,73	65%
1.A	A	4	20-apr-21	0,54	43,84	
1.B	B	4	20-apr-21	0,37	29,96	68%
2.A	A	1	20-apr-21	1,28	25,71	
2.B	B	1	20-apr-21	0,58	11,70	46%
K.2.A.1	A	4	7-sep-21	-	34,31	
K.2.B.1	B	4	7-sep-21	0,30	19,00	55%
K.2.A.2	A	4	21-sep-21	0,49	38,41	
K.2.B.2	B	4	21-sep-21	0,29	22,85	59%
K.2.A.3	A	1	5-okt-21	1,62	31,78	
K.2.B.3	B	1	5-okt-21	1,25	24,65	78%
K.2.A.4	A	1	26-okt-21	1,21	23,66	
K.2.B.4	B	1	26-okt-21	0,67	13,00	55%

Debiet:	Gemiddelde % t.o.v. vorige kist
1 L/min	56% (RSD=32%, n=6)
2 L/min	61% (n=1)
4 L/min	62% (RSD = 7%, n=7)
8 L/min	71% (n=1)

Kist	Kist in serie	Debiet (L/min)	Start	Zwevend stof (mg/L)	Zwevend stof totaal (g)	% t.o.v. van voorgaande kist
K.3.A.4	A	1	26-okt-21	1,24	22,77	
K.3.B.4	B	1	26-okt-21	0,78	14,37	63%
K.2.A.5	A	1	16-nov-21	1,27	23,82	
K.2.B.5	B	1	16-nov-21	0,54	10,25	43%
K.3.A.5	A	1	16-nov-21	1,26	24,10	
K.3.B.5	B	1	16-nov-21	0,65	12,38	51%
K.4.A.5	A	1	16-nov-21	1,05	20,28	
K.4.B.5	B	1	16-nov-21	0,83	16,09	79%
K.4.A.6	A	4	30-nov-21	0,73	58,06	
K.4.B.6	B	4	30-nov-21	0,46	38,65	67%
K.4.C.6	C	4	30-nov-21	0,34	28,38	73%
K.4.D.6	D	4	30-nov-21	0,30	23,92	84%
2W.14.1A	A	1	17-feb-22	1,81	36,40	
2W.14.1B	B	1	17-feb-22	0,70	14,04	39%

Hoeveelheid zwevend stof (g)	Kist	% ten opzichte van 1e kist
58,1	K.4.A.6	100,0%
38,7	K.4.B.6	66,6%
25,7	theor. Kist	44,3%
17,1	theor. Kist	29,5%
11,4	theor. Kist	19,6%
7,6	theor. Kist	13,1%
5,1	theor. Kist	8,7%
3,4	theor. Kist	5,8%
2,2	theor. Kist	3,9%
1,5	theor. Kist	2,6%
1,0	theor. Kist	1,7%
0,7	theor. Kist	1,1%
0,4	theor. Kist	0,8%
Geschatte totaal aan zwevend stof		172
% zwevend stof in eerste kist		$58,06 / 172 = 34\%$

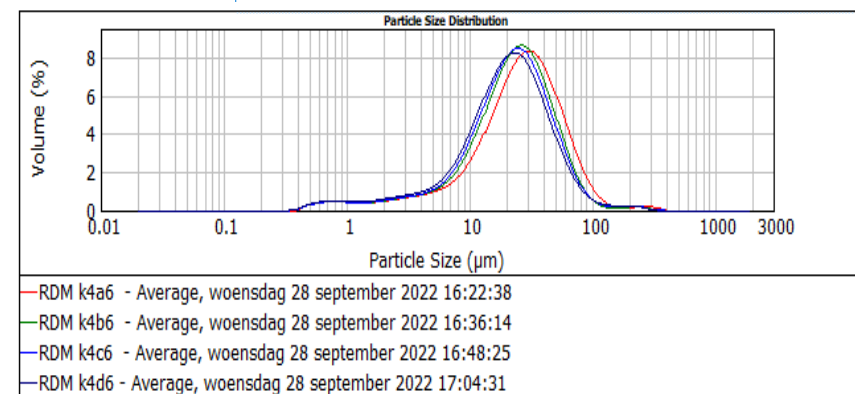
Tabel 12 Schatting van de recovery van een sedimentkist op basis van kistencascade met 4 kisten, met na de 4e kist een opbrengst van 84% ten opzichte van de voorgaande kist. Op basis van de gegevens in

Hoeveelheid zwevend stof (g)	Kist	% ten opzichte van 1e kist
58,1	K.4.A.6	
38,7	K.4.B.6	
28,4	K.4.C.6	
23,9	K.4.D.6	
20,1	theor. Kist	35%
16,9	theor. Kist	29%
14,2	theor. Kist	24%
11,9	theor. Kist	21%
10,0	theor. Kist	17%
8,4	theor. Kist	14%
7,1	theor. Kist	12%
5,9	theor. Kist	10%
5,0	theor. Kist	9%
4,2	theor. Kist	7%
3,5	theor. Kist	6%
3,0	theor. Kist	5%
2,5	theor. Kist	4%
2,1	theor. Kist	4%
1,7	theor. Kist	3%
1,5	theor. Kist	3%
1,2	theor. Kist	2%
1,0	theor. Kist	2%
0,9	theor. Kist	2%
0,7	theor. Kist	1%
0,6	theor. Kist	1%
0,5	theor. Kist	1%
0,4	theor. Kist	1%
0,4	theor. Kist	1%
0,3	theor. Kist	1%
0,3	theor. Kist	0%
Geschatte totaal aan zwevend stof		273
% zwevend stof in eerste kist		$58,06 / 273 = 21\%$

Tabel 13 Deeltjesgrootteverdeling (volume) van zwevend stof (laserdiffractie: Mastersizer 2000), bemonsterd in 4 achter elkaar geplaatste sedimentboxen. Van het zwevend stof uit de 1e en 4e kist zijn duplo metingen uitgevoerd om de spreiding in de meting weer te geven.

Monster	d (0.1) (µm)	d (0.5) (µm)	d (0.9) (µm)
RDM k4a6 – 1e kist	6.3	26.8	64.0
RDM K4a6 – 1e kist - duplo meting	6.2	25.9	61.0
RDM k4b6 – 2e kist	6.1	23.4	54.1
RDM k4c6 – 3e kist	6.0	22.2	52.9
RDM k4d6 – 4e kist	5.2	20.7	51.0
RDM k4d6 – 4e kist – duplo meting	5.3	21.2	52.3

Figuur 16 Deeltjesgrootteverdeling (volume) van zwevend stof (laserdiffractie: Mastersizer 2000), bemonsterd in 4 achter elkaar geplaatste sedimentkisten.



Tabel 14 Microplastic gehalten in g/kg zwevend stof bepaald met TED GC-MS. Gehaltes zijn bepaald voor zwevend stof uit 4 sets van twee kisten. Het water wordt eerst door kist 1, en wordt vervolgens door kist 2 geleid.

Sample	Locatie	Start	Days	Depth (cm)	Lab	Kist	PE	PP*	PET	SBR	NR	PS	PA	PMMA	Som
K.1a.2 10_4	RDM R'dam	9-mrt-21	14	10	BAM	Kist1	1,6	0,20	<LOD	0,26	0,03	0,21	0,05	0,07	2,4
K.1b.2 10_4	RDM R'dam	9-mrt-21	14	10	BAM	kist2	1,4	<LOD	<LOD	0,20	0,02	0,09	0,04	<LOD	1,7
K.2a.2 10_2 G	RDM R'dam	9-mrt-21	14	10	RWS	Kist1	1,8	0,25	<LOD	0,22	0,02	0,12	<LOQ	0,05	2,4
K.2b.2 10_2	RDM R'dam	9-mrt-21	14	10	BAM	kist2	1,1	<LOD	<LOD	0,21	0,02	0,05	<LOD	0,04	1,4
K.1a.4 10-4 G	RDM R'dam	6-apr-21	14	10	RWS	Kist1	0,80	0,07	<LOD	0,12	0,02	0,06	<LOQ	0,07	1,1
K.1b.4 10-4	RDM R'dam	6-apr-21	14	10	BAM	kist2	2,5	<LOD	<LOD	0,23	0,02	0,13	<LOD	0,10	3,0
K.2a.5 10-1 G	RDM R'dam	20-apr-21	14	10	RWS	Kist1	1,14	0,13	<LOD	0,19	0,02	0,09	<LOD	<LOQ	1,6
K.2b.5 10-1	RDM R'dam	20-apr-21	14	10	BAM	kist2	0,88	<LOD	<LOD	0,23	0,01	0,07	<LOD	0,09	1,3

Tabel 15 Terugvinding op dag 14 van zichtbare (> 1 mm) microplastics, geaddeerd in de sedimentbox op dag 1 en dag 7

1 l/min	% recovery na 7 dagen	4l /min	% recovery na 7 dagen
EPS (drijft)	>89	EPS (drijft)	80
PET (zinkt)	86	PET (zinkt)	78
ABS (shredded, rood, drijft)	87	ABS (shredded, rood, drijft)	83
	% recovery na 14 dagen		% recovery na 14 dagen
PP (drijft)	90	PP (drijft)	91
PET (zinkt)	93	PET (zinkt)	71
ABS (shredded, zwart, zinkt)	90	ABS (shredded, zwart, zinkt)	94

Tabel 16 Terugvinding op dag 14 van kleine ($-0,1\text{ mm}$) microplastics, geadeerd in de sedimentbox op dag 1 en dag 7, bepaald met behulp van TED GC-MS. Om te corrigeren voor het al aanwezige PE en PMMA in het zwevend stof is voor elke serie ook een monster zonder additie geanalyseerd. De retentie van de zwaardere PMMA deeltjes lijkt beter dan van de lichtere PE deeltjes.

Periode 1: 1 kist	Dag 14: Terugvinding
Dag 1: 0,58 g PE toegevoegd	0,10 gram PE (17% na 14 dagen)
Dag 7: 0,63 PMMA toegevoegd	0,6 gram PMMA (95% na 7 dagen)
Periode 2: 2 kisten	
Dag 1: 0,56 & 0,58 g PMMA toegevoegd	0,21 & 0,14 gram PE (~33% na 7 dagen)
Dag 7: 0,52 & 0,54 g PE toegevoegd	1,0 & 0,6 gram PMMA (~145 % na 14 dagen)

Tabel 17 Microplastic gehalten in gedroogd zwevend stof (g/kg), na gelijktijdige bemonstering op meerdere dieptes. Bemonstering op het RDM dok in Rotterdam ((51.898162, 4.423301)) gedurende twee periodes van twee weken (debiet van 4 l/min.).

Sample	Start	L/min	diepte	PE	PP	PET	SBR	NR	PS	PA	PMMA	Som	PA	PMMA	Som
K.1.1 10_4	23-feb-21	4	10	1,02	0,06	<LOD	0,15	0,03	0,07	0,02	<0,07	1,35	0,05	0,07	2,4
K.3.1 10_4	23-feb-21	4	10	0,89	0,05	<LOD	0,15	0,02	0,05	<LOD	0,11	1,27	0,04	<LOD	1,7
K.4.1 10_4	23-feb-21	4	10	1,31	<LOD	<LOD	0,16	0,02	0,04	<LOD	0,03	1,55	<LOQ	0,05	2,4
K.1a.2 10_4	9-mrt-21	4	10	1,59	0,20	<LOD	0,26	0,03	0,21	0,05	0,07	2,42	<LOD	0,04	1,4
K.4.2 50_4	9-mrt-21	4	50	0,90	0,09	<0,016	0,13	0,02	0,01	<LOD	<0,07	1,16	<LOQ	0,07	1,1
K.2a.2 10_4	9-mrt-21	4	10	1,78	0,25	<LOD	0,22	0,02	0,12	<LOQ	0,05	2,44	<LOD	0,10	3,0
K.3.2 10_4	9-mrt-21	4	10	2,82	0,33	<LOD	0,20	0,02	0,14	<LOQ	0,13	3,64	<LOD	<LOQ	1,6
K.1a.3 10-4	23-mrt-21	4	10	0,65	<LOD	<LOD	0,12	0,01	0,21	<LOD	0,04	1,04	<LOD	0,09	1,3
K.2a.3 80-1	23-mrt-21	4	80	0,60	0,03	<LOD	0,09	0,01	0,13	<LOD	0,11	0,96			
K.3.3 80-4	23-mrt-21	4	80	0,83	<LOD	<LOD	0,17	0,01	0,14	<LOD	0,05	1,20			
K.4.3 80-2	23-mrt-21	4	80	0,66	0,07	<LOD	0,14	0,03	0,11	<LOD	<LOD	1,02			
k.2a.1 10-4	7-sep-21	4	10	1,50	0,15	<LOD	0,14	0,06	0,05	<LOD	<0,1	1,90			
k.1a.1 290-4	7-sep-21	4	290	1,80	0,09	<LOD	0,14	0,02	0,04	<LOD	<0,1	2,09			
k.2a.2 10-4	21-sep-21	4	10	1,80	0,09	<LOD	0,11	0,03	0,06	<LOD	12,01	2,09			
k.1a.2 290-4	21-sep-21	4	290	1,40	ND	<LOD	0,09	0,03	0,01	<LOD	<0,1	1,53			

TED GC-MS analyses uitgevoerd door BAM (eerste twee periodes), Berlijn en RWS (laatste twee periodes). Opvallend hoge PMMA concentraties zijn oranje gemarkeerd. Plastics met een hogere dichtheid dan water zijn blauw gemarkeerd. Polystyreen is lichtblauw gemarkeerd, omdat dit materiaal zwaarder is dan water, maar in de toepassing als piepschuim lichter dan water is. PET is gemeten, maar niet aangetoond.

Tabel 18 Gemiddelde verhouding tussen microplastics concentraties op verschillende dieptes (50, 80, 290 en sediment (op ~700 cm)) ten opzichte van de microplastics concentratie op 10 cm diepte. Het monster genomen op 10 cm dat per bemonsteringsperiode als referentiemonster is gebruikt is grijs gemarkeerd in Tabel 19.

	PE	PP	PET	SBR	NR	PS	PA	PMMA	Som	Gemiddelde verhouding op diepte x cm	RSD(%)	Gemiddelde van n monsters	PA	PMMA	Som
10 cm	1,3	1,2	-	0,9	0,7	0,6	-	1,3	1,2	1,0	31%	n=4	0,05	0,07	2,4
50 cm	0,6	0,4	-	0,5	0,8	0,1	-	-	0,5	0,5	27%	n=1	0,04	<LOD	1,7
80 cm	1,1	-	-	1,1	1,5	0,6	-	1,8	1,0	1,2	46%	n=3	<LOQ	0,05	2,4
290 cm	1,0	-	-	0,9	0,7	0,5	-	-	0,9	0,8	23%	n=2	<LOD	0,04	1,4
sediment (700 cm)	1,1	0,8	-	1,4	0,3	0,2	0,4	-	1,0	0,7	49%	n=2			

Tabel 19 Overzicht van bemonsteringen uitgevoerd op AWZIs in samenwerking met Waterschap Zuiderzeeland en Aqualysis

	Monstercode:	Start datum:	Eind datum:	Aantal dagen:	Effluent of influent:	Debiet (L/min):	Watermeter (L):	Hoeveelheid droog materiaal (g)
1	ZW1E_1L/min_29d	7-4-2021	6-5-2021	29	Effluent	1 L/min	-	45.3
2	ZW1I_1L/min_29d	7-4-2021	6-5-2021	29	Influent	1 L/min	-	306.1
3	ZW2Ea_1L/min_7d	18-5-2021	25-5-2021	7	Effluent	1 L/min	-	26.4
4	ZW2I_1L/min_14d	18-5-2021	1-6-2021	14	Influent	1 L/min	9480	578.7
5	ZW2Eb_1L/min_7d	25-5-2021	1-6-2021	7	Effluent	1 L/min	-	26.6
6	ZW3E_4L/min_7d	1-6-2021	8-6-2021	7	Effluent	4 L/min	36052	14.5
7	ZW3I_4L/min_7d	1-6-2021	8-6-2021	7	Influent	4 L/min	5458	538.4
8	ZW4E_4L/min_7d	5-7-2021	12-7-2021	7	Effluent	4 L/min	40428	91.3
9	ZW4ID1_4L/min_1d	5-7-2021	6-7-2021	1	Influent	4 L/min	4484	561*
	ZW4ID2_4L/min_1d	6-7-2021	7-7-2021	1	Influent	4 L/min	5611	
10	ZW4ID3_4L/min_5d	7-7-2021	12-7-2021	5	Influent	4 L/min	28931	443*
11	AL1E_4L/min_7d	9-8-2021	16-8-2021	7	Effluent	4 L/min	40762	16.2
12	AL2E_4L/min_7d	18-8-2021	25-8-2021	7	Effluent	4 L/min	36646	15.5
13	AL3E_4L/min_7d	25-8-2021	1-9-2021	7	Effluent	4 L/min	38517	15.4

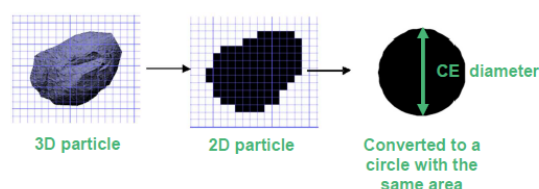
* Deze monsters zijn nat gehomogeniseerd en vervolgens is een deelmonster gedroogd. Het droog gewicht is berekend aan de hand van het % droge stof in het deelmonster en het nat gewicht van de hele inhoud van de kist.

Bijlage 2: Deeltjesgrootteverdelingen van bemonsterd zwevend stof en van microplastics

De firma Sysmec heeft op verzoek van RWS met een microscoop, zowel bij een vergroting van 5x (voor deeltjes met een straal van 5 tot 500 μm) als een vergroting van 50x (voor deeltjes met een straal van 0,5 tot 100 μm), 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 17.

Figuur 17 Omzetting van het volume van een onregelmatig gevormd deeltje naar een bol

Er zijn twee manieren om een deeltjesgrootteverdeling weer te geven:



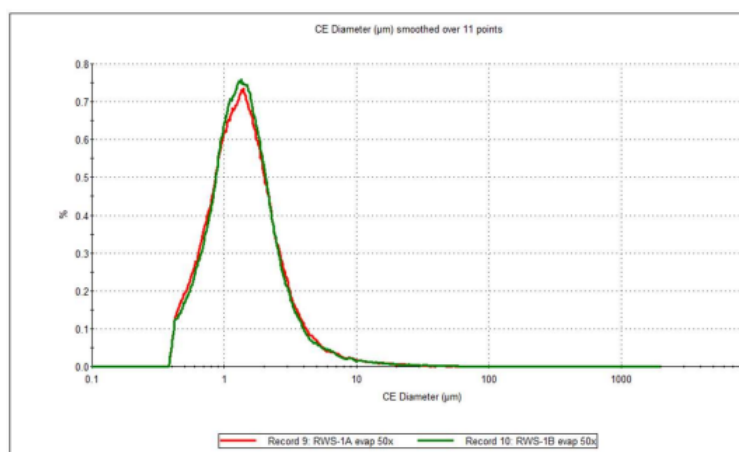
- is belangrijk voor optische microplastics analyses, zoals FT-IR of Raman.
- Een deeltjesgrootteverdeling op basis van het volume van de deeltjes is - omdat het volume van een deeltje evenredig is met de massa - belangrijk voor een microplastics analyse op basis van massa, zoals TED GC-MS.

Deeltjesgrootteverdeling van zwevend stof in aantallen deeltjes

Figuur 18 geeft de deeltjesgrootteverdeling weer van twee deelmonsters van zwevend stof, dat met een sedimentkist op 10 cm diepte in Rotterdam is bemonsterd. De deeltjesgrootteverdelingen van beide deelmonsters komen goed overeen.

Figuur 18 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.

Figuur 18 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.



Opvallend is het grote aantal deeltjes met een diameter tussen 0,5 μm (de ondergrens van de methode) en 1 μm . Mogelijk bevat deze fractie ook nanoplastics.

Het met een sedimentkist bemonsterde zwevend stof bevat hoogstwaarschijnlijk ook veel deeltjes kleiner dan 0,5 μm . 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 µm in zwevend stof uit oppervlaktewater is waarschijnlijk nog hoger dan in Figuur 18 is weergegeven.

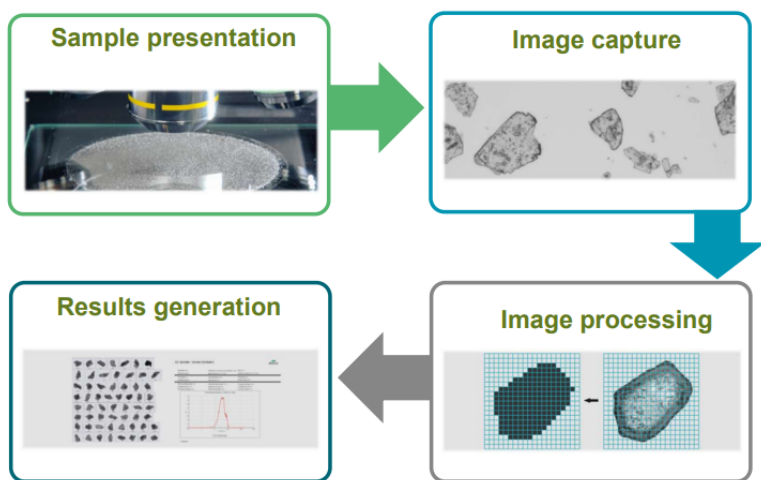
Daarnaast heeft Sysmex voor RWS een aantal nauwkeuriger deeltjesgrootte analyses uitgevoerd met de Malvern Morphology, waar onder een microscoop zowel met 5x vergroting als met 50x vergroting de grootte van de afzonderlijke deeltjes wordt bepaald:

Figuur 19 Methode voor optische deeltjesgrootte analyse (in aantallen) met 5x en 50x vergroting (tot 0,5 µm)

Met deze methode is, gecombineerd met een zorgvuldige monster-voorbewerking, nauwkeurig de deeltjesgrootteverdeling te meten. De wijze waarop de deeltjes voorafgaand aan de microscopische analyse gedispergeerd worden, is belangrijk. Bij onvoldoende scheiding van de deeltjes blijven er klonten/aggregaten/clusters over, waardoor de deeltjesgrootteverdeling naar (schijnbaar) grotere deeltjes verschuift.

Wat deeltjesgrootteverdeling (in aantallen) betreft, gold voor alle 11 gemeten deelmonsters, van zwevend stof bemonsterd met een sedimentkist in Rotterdam, Lobith en Eijsden:

1. 90% van de deeltjes bleek op alle 3 locaties (ruim) kleiner dan 7,5 µm.
2. Het maximum van de Gausse curves van de deeltjesverdeling lag tussen 1,1 tot 2,3 µm.



Verwijzingen

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

Collas, F. B. (2021). Plastic in de waterkolom van de Boven-Rijn, Waal en IJssel. Radboud Universiteit / RWS.

Dirk Schaefer, G. H. (2021). Numerical 3D Modelling of Hydrodynamics and Microplastic Transport in a section of the Rhine River. 6 IAHR Europe congress. Warsaw.: Federal Institute of Hydrology (BfG), Germany.

H.A. Leslie, M. v.-V. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environmental International*.

Hannes Laermans, G. R. (2021, 12). Microplastic in Water and Sediments at the Confluence of the Elbe and Mulde Rivers in Germany. *Frontiers in Environmental Science*, p. 794895 (figuur 4).

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

LARTIGES, B. S. (2001). COMPOSITION, STRUCTURE AND SIZE DISTRIBUTION OF SUSPENDED PARTICULATES FROM THE RHINE RIVER. *Wat. Res*, pp. 808-816.

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

Maria Kittner, A. K. (2022). Microplastics in the Danube River Basin: A First Comprehensive Screening with a Harmonized Analytical Approach. *ACS EST Water*, p. 1174-1181.

Merel Kooi, S. P. (2021). Characterizing the multidimensionality of microplastics across environmental compartments. *Water Research* 202, pp. 117429, Supplement, table 4.

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

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

Rijkswaterstaat. (sd). *Monitoring*. Opgehaald van Waterinfo Extra: <https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/>

UGTgmbh. (2023, 01 09). <https://www.ugt-onlineblog.com/ugt-research/>. Opgehaald van <https://www.ugt-onlineblog.com/ugt-research/>

Dit is een uitgave van

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

Auteurs Ivo Freriks, Christa van Oversteeg en Henk Zemmeling

Juni 2023