



Europees Fonds voor  
Maritieme Zaken en Visserij



voor natuur  
en leefomgeving



# Quickscan monitoringsmethoden voor zwerfafval in de waterkolom

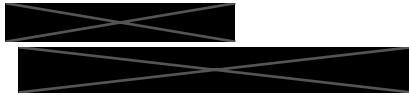
**Rijkswaterstaat**

27 september 2022



## Contactpersoon

**NANNE VAN HOYTEMA**  
Senior Marien ecoloog



Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland



## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding	4
1.2	Onderzoeksvragen	5
<b>2</b>	<b>Meetlocaties en -periodes</b>	<b>6</b>
2.1	Belangrijke lokale factoren voor locaties	6
2.2	Ruimtelijke spreiding over een rivier (en systeem)	6
2.3	Temporele spreiding	7
<b>3</b>	<b>Veldmethodes</b>	<b>8</b>
3.1	Specificaties netsystemen	8
3.2	Platform voor gebruik netten	9
3.3	Spreiding netten over de breedte van de rivier	11
3.4	Verticale spreiding over de waterkolom	12
3.5	Het verwerken van opgehaalde monsters	13
3.6	Methodes zonder net	14
3.6	Andere tips en lessen	15
3.7	Internationale databases met meetresultaten	15
3.8	Bruikbaarheid van resultaten voor aanpakken zwerfafvalprobleem	15
<b>4</b>	<b>Conclusie</b>	<b>17</b>
	<b>Referenties</b>	<b>19</b>



Colofon

22



# 1 Introductie

## 1.1 Aanleiding

Er is meer dan 8.000 miljoen ton kunststof gemaakt sinds het begin van de grootschalige productie in de jaren 1950 (Geyer et al., 2017). Als gevolg van de alomtegenwoordigheid van plastic producten, gecombineerd met ontoereikende beheer en behandeling van afval, is plastic afval in het milieu terechtgekomen en is het aanwezig in vrijwel alle ecosystemen. Het is zelfs op afgelegen plaatsen zoals bergmeren en in het poolijs aangetroffen. Het meest prominente voorbeeld van de wijdverbreide plastic vervuiling van het milieu zijn de wereldzeeën. Onderzoek, maatschappelijk bewustzijn en acties zijn al lang gericht op plastic in zee (Wendt-Potthoff et al., 2020a).

Volgens onze huidige kennis is het overgrote deel van het mariene plastic afkomstig van bronnen op het land. Daarom zijn vele onderzoek en monitoringprogramma's nu ook gericht op het zoetwater- en landmilieu. Rivieren zijn aangewezen als belangrijke verbindingswegen tussen het land en het mariene milieu. Verder wordt er nu ook gedacht dat de overgrote meerderheid van afval dat door rivieren wordt getransporteerd juist niet in zee komt, en rivieren zich juist als zwerfafval putten gedragen (van Emmerik et al., 2022). Bovendien worden rivieren en andere zoetwaterlichamen zoals meren en reservoirs op dezelfde manier door plastic vervuiling bedreigd als het mariene milieu. Ondanks het belang en de groeiende hoeveelheid gegevens en kennis over plastic afval in zoet water, is het huidige inzicht naar transportprocessen, lading en effecten beperkt, vooral omdat veel gegevens nog ontbreken. De meeste gepubliceerde gegevens over plastic afval in zoetwater zijn afkomstig van individuele projecten waarbij verschillende meet- en analysetechnieken worden toegepast (Wendt-Potthoff et al., 2020a).

Het merendeel van de rivieren in de wereld is niet gemeten op plastic vervuiling. Tot op heden bestaan er geen programma's voor toezicht op plastic afval in rivieren. Om het nog ingewikkelder te maken, is er geen algemene "kant-en-klare" oplossing voor het opzetten van een monitoringprogramma. De afgelopen jaren zijn verschillende methoden ontwikkeld om macroplastics aan het wateroppervlak te meten: direct meetmethodes, volgmethodes, en visuele observatiemethodes (Wendt-Potthoff et al., 2020a). Directe metingen vindt in een rivier normaal gesproken plaats via netten. Volgmethodes kunnen passief of actief zijn. Passief volgen is het uitzetten van gemarkeerde boeien o.i.d. die stroomafwaarts weer gevonden worden. Actief volgen gaat door middel van GPS-tracking waar dus een GPS-zender voor aanwezig moet zijn op de boei. Visuele observatiemethodes werken door middel van het tellen en categoriseren van afval van observatiepunten zoals bruggen terwijl het voorbij drijft. Deze methodes zijn voornamelijk toegepast voor het meten van drijvend plastic afval op de wateroppervlakte. Zwevend plastic afval in de waterkolom is nog steeds een opkomend onderzoeksonderwerp, en er bestaan geen geharmoniseerde monitoring strategieën of wetenschappelijke consensus over de optimale meetmethodes.

Het doel van dit rapport is bijgevolg een korte review uitvoeren van huidige literatuur over plastic afval in de waterkolom om een beeld te schetsen van het monitoren van zwerfafval in rivieren. De focus ligt bij deze review op de waterkolom, maar dit is een relatief weinig onderzocht compartiment in rivieren (Figuur 1) waar het gedrag, de kenmerken, en concentratie van afval significant kan verschillen ten opzichte van drijvend afval. Waar nodig wordt de informatie aangevuld met die over andere compartimenten.



Figuur 1 Overzicht van studies naar plastic in rivieren van 1974 tot 2020 ingedeeld naar grootte van onderzocht plastic en compartiment dat onderzocht is. Bron: (Lebreton et al., 2022)



Hoofdstuk 2 gaat over gebruikte meetlocaties en -periodes. Welke factoren zijn belangrijk bij het kiezen van locaties? Hoe verdeelden onderzoekers hun onderzoek over de lengte van de rivier? En hoe werd de factor tijd in de onderzoeken behandeld? Hoofdstuk 3 beschrijft de gebruikte methodes: wat voor netsystemen, hoe werd op de onderzoekslocatie over de breedte en diepte van de rivier gemeten? Hoe werden monsters verwerkt? En zijn er ook methodes zonder net? Daarna gaat hoofdstuk 3 verder over databases die informatie van meerdere onderzoeken samenbrengen en hoe de onderzoeken tot nu toe hebben bijgedragen aan het aanpakken van het zwerfafvalprobleem. Uiteindelijk wordt in hoofdstuk 4 de review samengevat en de onderzoeksvragen beantwoord die volgen in paragraaf 1.2.

## 1.2 Onderzoeksvragen

In dit rapport worden de onderstaande onderzoeksvragen beantwoord:

- Welke factoren moeten in acht worden genomen bij het bepalen van de meest geschikte meetlocaties? Het gaat hierbij om zowel de lengte- als dwarsdoorsnede van de rivier;
- Op hoeveel locaties dient onderzoek te worden gedaan om een representatief inzicht te krijgen in het zwerfafval in de waterkolom?
- Op welke diepte(s) dient onderzoek gedaan te worden?
- Hoe vaak per jaar dient minimaal onderzoek in de waterkolom gedaan te worden om een representatief inzicht te krijgen in het zwerfafval in de waterkolom en in welke periodes van het jaar?
- In hoeverre dragen de resultaten bij aan het verkrijgen van kennis en inzicht in het aanpakken van het zwerfafvalprobleem in rivieren en de zee?



## 2 Meetlocaties en -periodes

### 2.1 Belangrijke lokale factoren voor locaties

Gezien de diversiteit van rivieromgevingen, is het belangrijk om een grondige beoordeling uit te voeren van potentiële meetlocaties. Dit om ervoor te zorgen dat deze locaties voldoen aan de behoeften van de onderzoeks- en meetdoelen. Er zijn verschillende belangrijke factoren vermeld in de huidige literatuur die in acht genomen moeten worden bij het bepalen van geschikte meetlocaties. Welke factoren het belangrijkste zijn hangt af van de uiteindelijke studiedoelen, en vooral de gekozen meetstrategie.

Metingen kunnen passief of actief worden uitgevoerd. Bij passieve metingen wordt het net in de waterkolom geplaatst vanaf een stilliggend platform (Morritt et al., 2014; Hohenblum et al., 2015; van Emmerik, Loozen, et al., 2019; van Emmerik, Strady, et al., 2019; Schöneich-Argent et al., 2020; Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, 2021; Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., 2021; Velimirovic et al., 2022). Hier wordt de rivierstroom zelf gebruikt om plastic afval in het net op te vangen. Bij actieve metingen sleept de onderzoeker zelf, of een vaartuig, het net door het water (Lenaker et al., 2019; Blondel & Buschman, 2022). In beide gevallen mogen de metingen de scheepvaart niet belemmeren. Het is daarom van belang dat er een veilige locatie wordt geïdentificeerd waar het meetsysteem ingezet kan worden vanaf bijvoorbeeld een afgemeerde boot of ponton. Meestal is dit in de buurt van de oever van de rivier. In rivieren waar de scheepvaart minder frequent is, kunnen metingen in het midden van de rivier worden uitgevoerd vanaf een boot of brug (Hohenblum et al., 2015; Liedermann et al., 2018; van Emmerik, Loozen, et al., 2019; van Emmerik, Strady, et al., 2019). Hierbij is vaak wel infrastructuur nodig en eventuele wegafzettingen. Dit brengt mogelijk kosten met zich mee die mogelijk niet overeenkomen met de beschikbare projectmiddelen. Boot- en oevermetingen zijn dus vaak een gunstigere optie. Daarnaast is het ook belangrijk om ervoor te zorgen dat dezelfde locatie in de rivierbreedte herhaaldelijk kan worden gemeten om data te verzamelen over de tijd.

Verschiedende soorten rivierinfrastructuur, zoals bruggen, kunnen stromingspatronen beïnvloeden die het transport van plastic afval beïnvloeden (Kuizenga et al., 2022). Het meten in de buurt van dergelijke structuren kan een niet-representatief beeld geven van de plastic distributie. Ook dammen, stuwen, of andere degelijke structuren stroomopwaarts van de meetlocaties kunnen invloed hebben op de metingen.

Riviermorfologie en getijden kunnen van invloed zijn op waar en hoeveel plastic wordt vervoerd in de rivierdwarsdoorsnede, met name door het creëren van turbulentie (Hohenblum et al., 2015; van Emmerik, Strady, et al., 2019). De richting van transport en locatie met het meest transport in de dwarsdoorsnede kan veranderen met het getij. Er kunnen ook gebieden zijn waar plastic zich van nature ophoopt (van Emmerik et al., 2022). Ook kunnen verschillende stromingsstructuren in rechte stukken ten opzichte van rivierbochten leiden tot verschillen in transport (Blondel & Buschman, 2022). Bij het kiezen van een meetlocatie dient hiermee rekening te worden gehouden (Hohenblum et al., 2015). Daarnaast beveelt van der Wal et al. (2015) aan de horizontale spreiding van meetlocaties verder ter plaatse te bepalen door te observeren waar de stroming met kritische snelheid stroomt, en de windrichting en kanaalmorfologie in acht te nemen.

De meetlocatie moet geschikt zijn voor de gekozen inzetmethode en eventuele aanvullende metingen. Bij de keuze van een locatie dienen de maximale en gemiddelde stroomsnelheden van de rivier in het meetgebied bekend te zijn (Liedermann et al., 2018). Dit is nodig om rekening te houden met de potentiële krachten die op de netten en het meetsysteem inwerken. Als de meetstrategie een passief systeem betreft, is het ook belangrijk om te weten wat de laagste stroomsnelheden zijn die in de meetperiode mogen worden verwacht aangezien het vangen van zwerfafval met netten een minimale stroming nodig heeft om de deeltjes achter in het net te krijgen. Voor een onderzoek met een langere tijdsduur moet zowel de seizoensvariatie in de stroming bekend zijn, als het risico van overstromingen of extreme afvoergebeurtenissen. Deze factoren zijn van sterke invloed op de zwerfafval concentraties (van Emmerik, Tramoy, et al., 2019).

### 2.2 Ruimtelijke spreiding over een rivier (en systeem)

Huidige literatuur over zwevend plasticafval in de waterkolom vertoont een grote verscheidenheid in ruimtelijke spreiding over zowel een rivier zelf als grotere stroomgebieden. Studies die gericht zijn op het schatten van fluxen of die zich breder richten op monitoring, kiezen voor een breder ruimtelijk bereik. Veel van deze studies keken naar meerdere rivieren binnen een studieregio (Moore et al., 2011; van Emmerik, Loozen, et al., 2019; Lenaker et al., 2019; Schöneich-Argent et al., 2020). Moore et al., (2011) en van Emmerik, Loozen, et al., (2019) bemonsterden beiden meerdere rivieren, maar enkel in de buurt van riviermondingen waar hoge plastic emissies werden verwacht. Lenaker et al., (2019) bemonsterden zowel op stroomopwaartse als stroomafwaartse locaties in drie Amerikaanse rivieren. Schöneich-Argent



et al., (2020) verzamelden samples van in totaal 23 locaties op verschillende afstanden van de riviermondingen van de Eems, Weser en Elbe, en Hohenblum et al., (2015) hebben aan het begin en het einde van het Oostenrijkse Donau gemeten. In onderzoeken waar de focus bijvoorbeeld op het gedrag van zwevende macroplastics door een enkele bocht (Blondel & Buschman, 2022) of de hydrodynamica van een riviersamenvloeiing ligt (Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., 2021), beperken onderzoekers vaak hun ruimtelijk bereik tot slechts één locatie ten gunste van frequentere samples. Hier ligt de nadruk op het vastleggen van temporele veranderingen in plastic gedrag op korte zowel als lange termijn.

Meetcampagnes waarbij data werden verzameld op verschillende locaties of in meerdere rivieren, deden dit vaak ten koste van de transversale spreiding over de breedte van een rivier. Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, (2021) hebben gedurende drie maanden een enkele rivierdoorsnede gemeten in de Hillsborough Rivier in Florida, VS, om een inzicht te krijgen in de variatie van zwevend plasticafval in de waterkolom, zowel verticaal als in de dwarsdoorsnede. De auteurs benadrukken dat plastic concentraties in de waterkolom tot twee ordes van grootte kunnen variëren binnen een rivierdoorsnede. Maandelijks en seizoensgebonden verschillen in stromingsomstandigheden bleken ook te leiden tot significante verschillen in de verticale en dwarsdoorsnede-verdeling van plasticafval. De auteurs bevelen daarom toekomstige meetcampagnes aan om een component op te nemen waarmee de dwarsdoorsnede-verdeling van zwevend afval wordt beoordeeld; methodes waarbij jaarlijkse plastic afval fluxen zijn gebaseerd op éénpuntsmetingen, kunnen leiden tot extrapolatiefouten.

Het kiezen van een enkele site als deze maakt ook een site-specifieke tijdtrendanalyse mogelijk. Het opnemen van meerdere locaties geeft een representatiever en uitgebreider overzicht van de plastic distributie in een groter gebied. Het vastleggen van beiden is ook mogelijk. Hohenblum et al., (2015) hebben tijdens verschillende stroom omstandigheden in twee dwarsdoorsnedes aan het begin en einde van het Oostenrijkse Donau op drie dieptes en over de volledige dwarsdoorsnede gemeten.

## 2.3 Temporele spreiding

De concentraties van plastics en plastic belastingen kunnen in het geval van drijvend afval sterk variëren in de tijd (seizoens-, dagelijkse en sub dagelijkse schalen) (van Emmerik, Tramoy, et al., 2019; Vriend et al., 2020). Deze tijdsvariatie kan nuttige informatie opleveren over de mechanismen van plastic transport. Stijgende concentraties in de rivier met toenemende rivierafvoer kunnen bijvoorbeeld een indicatie zijn van her-mobilisatie van materiaal dat al in de rivier aanwezig is. Voor plastic in de waterkolom is hier echter weinig over bekend. Daarom wordt in het algemeen aanbevolen zich te concentreren op relatief frequente en langdurige monitoring op minder locaties in plaats van sporadisch op vele locaties te meten om de seizoensvariatie te peilen. De frequentie moet worden aangepast aan de variabiliteit van het systeem. De regelmatige controle-interval moet worden verfijnd tijdens gebeurtenissen (bv. hoge stroomsnelheden in rivieren) (Wendt-Potthoff et al., 2020a).

Typische inzetduur varieert van minuten (Moore et al., 2011) tot 3 dagen (Morritt et al., 2014), maar deze is afhankelijk van de wijze van inzetten. Als de metingen handmatig wordt uitgevoerd, ligt de duur van de inzet doorgaans in de orde van minuten tot uren. Voor een langere inzet worden opstellingen aanbevolen die zonder continu toezicht, bijvoorbeeld door het gebruik van zwerfafvalvallen of vaste netten, zwerfafval vangen. De inzetduur van de netten hangt af van de afvallading van zowel plastics als andere componenten, zoals organisch materiaal en zwevend sediment. De inzetduur moet lang genoeg zijn om materiaal te vangen, maar moet kort genoeg zijn om belemmering van doorstroming door vervuiling van het net te voorkomen.

De bemonsteringsfrequentie wordt bepaald door de doelstellingen van het monitoringprogramma en de beschikbare middelen. Het wordt aanbevolen monsters te nemen onder verschillende stroomomstandigheden, aangezien de plastic belasting afhankelijk kan zijn van de rivierdynamiek op verschillende tijdschalen. Dicht bij de riviermonding wordt de stromingsdynamiek beïnvloed door zowel de zoetwaterafvoer als het getij. Afhankelijk van hun relatieve bijdrage kan dit meerdere malen per dag leiden tot veranderingen in de stroomsnelheid en -richting. Andere riviersystemen, zoals intermitterende stromen, zijn niet altijd gemakkelijk te voorspellen en kunnen sterk verschillen tussen de seizoenen. In extreme gevallen kunnen rivieren meerdere maanden droogstaan. In het geval van sterke schommelingen per uur, is het raadzaam meerdere bemonsteringen met hoge frequentie te plannen (Wendt-Potthoff et al., 2020a).

Een hogere frequentie van kortere monitoringssessies per meetmoment is nuttig om rekening te houden met de verwachte grote temporele variabiliteit in de zwerfafvalbelasting op de dag-schaal. Het is echter nog belangrijker om ook op de lange termijn te meten. Zo wordt ook het effect van seizoensvariatie op het transport en gedrag van onderwaterplastics in kaart gebracht. Denk hierbij aan metingen op bijvoorbeeld de maandelijks- of driemaandelijks-schaal.





## 3 Veldmethodes

### 3.1 Specificaties netsystemen

Netmaten zijn cruciale variabelen die de resultaten beïnvloeden. Dit omvat de hoogte en diepte van de mond van het net, op welke diepte het net wordt geplaatst, de netlengte en de maaswijdte van het net (Tabel 1). Hoogte en diepte bepalen het bemonsteringsoppervlak van het net dat verticaal in de waterstroom hangt. Dit bepaalt ook de maximale grootte van het afval dat kan worden bemonsterd. De keuze van een netopening is een balans tussen monstergrootte en de inspanning die nodig is om het net te bedienen omdat het gewicht van het systeem toeneemt, maar ook vooral omdat een groter net meer waterdruk op zich krijgt (Wendt-Potthoff et al., 2020a).

Tabel 1 Gegevens van netten en gebruikte maateenheden

Maasgrootte	Aantal netten	Afmetingen net (opening)	Meeteenheid	Bron
500 $\mu\text{m}$	1	0,5 x 1 m	kg d <sup>-1</sup>	Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, 2021; Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., 2021
6-12 mm	1-2	Onbekend	t j <sup>-1</sup>	Schöneich-Argent et al., 2020
80 mm bij de opening tot 5 mm aan het eind	1	8 m breed en ~70 m lang	Aantal items m <sup>-3</sup> en g m <sup>-3</sup>	Velimirovic et al., 2022
330 $\mu\text{m}$ manta net <sup>1</sup>	1	1 x 0.5 m	Aantal items j <sup>-1</sup> en t j <sup>-1</sup>	van der Wal et al., 2015
330 $\mu\text{m}$ (?) Pomp-manta net	1	1 x 0.5 m	Aantal items j <sup>-1</sup> en t j <sup>-1</sup>	van der Wal et al., 2015
3,2 mm - Waste Free Waters (WFW) sampler	2	Onbekend	Aantal items j <sup>-1</sup> en t j <sup>-1</sup>	van der Wal et al., 2015
4 cm	1 - 2	1.0 x 0.5 m <sup>2</sup>	Kg m <sup>-3</sup>	Van Emmerik et al. 2019a
4 cm	1 - 3	0.67 x 0.5 m <sup>2</sup>	Kg m <sup>-3</sup>	Van Emmerik et al. 2019b
500 $\mu\text{m}$	3	0.6 x 0.3 m <sup>2</sup> en 0.6 x 0.6 m <sup>2</sup> , 2m lengte.	g m <sup>-3</sup> en mg m <sup>-2</sup> *u	Hohenblum et al. 2015
300 $\mu\text{m}$	1	0.5 x 0.15 m <sup>2</sup>	Deeltjes m <sup>-3</sup>	Sadri & Thompson, 2014a
2.5cm (schatting op basis van foto)	3	40cm diameter	Aantal deeltjes	Morritt et al., 2014
333 $\mu\text{m}$	2	90x15 cm (manta trawl) 46x25 cm and 43x22 cm, 0.8 mm; 46x25 cm (stationary hand nets)	Deeltjes m <sup>-3</sup>	Moore et al., 2011
300 $\mu\text{m}$		60x25 cm	g km <sup>-2</sup> , deeltjes km <sup>-2</sup>	Faure et al., 2012
300 $\mu\text{m}$		60x18 cm	Meer: mg km <sup>-2</sup> , deeltjes km <sup>-2</sup> ; Rivier: deeltjes m <sup>-3</sup> , mg m <sup>-3</sup> , deeltjes/u, mg/u	Faure et al., 2015
3.2 mm		N.A.	M <sup>3</sup> macro plastics j <sup>-1</sup> (schatting gebaseerd op aannames)	van der Wal et al., 2015
333 $\mu\text{m}$		61x16 cm	Deeltjes km <sup>-2</sup>	Eriksen et al., 2013
500 $\mu\text{m}$		50 cm diameter	Deeltjes 1,000 m <sup>-3</sup> , g 1,000 m <sup>-3</sup>	Lechner et al., 2014
250 $\mu\text{m}$ en 500 $\mu\text{m}$	5	30x60 cm (bodem); 60x60 cm (midde en oppervlakte)	Concentratie (g 1,000 m <sup>-3</sup> ); flux (g s <sup>-1</sup> en kg d <sup>-1</sup> , t j <sup>-1</sup> )	Hohenblum et al., 2015
3.2 mm		100x10 cm (oppervlakte); 100x50 cm (midde)		Tweehuysen, 2015
300 $\mu\text{m}$		30 cm diameter	Deeltjes 10,000 L <sup>-1</sup>	Naidoo et al., 2015

<sup>1</sup>een mantanet is een oppervlaktenet dat door stroming onderlangs twee vleugels een stabiele positie op de oppervlakte heeft.



Niet in alle artikelen worden de exacte specificaties van de netten aangegeven. Zo wordt er in (Morritt et al., (2014) gesproken over standaard aalnetten en gemodificeerde netten. Het vermelden van duidelijke netspecificaties is van belang voor toekomstige standaardisatie van monitoringprotocollen. Dit bevordert bijvoorbeeld de standaardisatie van de plastic grootteklassen die worden vastgelegd in toekomstige meetcampagnes (González-Fernández & Hanke, 2017).

De lengte van het net bepaalt de trekkracht en de maximale opvangcapaciteit. Voor rivieren met hoge plastic concentraties en/of hoge stroomsnelheden is het aanbevolen om netten met een kleinere opening te gebruiken in het geval deze zonder extra apparatuur vanaf bruggen worden uitgezet (van Emmerik, Strady, et al., 2019; Wendt-Potthoff et al., 2020a). Alg en sediment kunnen een probleem vormen bij het gebruik van een kleinere maaswijdte, vooral als stroomsnelheden of turbulentie hoog zijn. Bij een hoge graad van zwevende materie in de rivier kan een langer net weer juist de bemonstering bevorderen omdat het langer duurt voor het net door vervuiling niet goed meer doorstroomt. De oplopende waterdruk op een net in combinatie met een net vol afval, kunnen ervoor zorgen dat de sleepkrachten aanzienlijk zijn en snel toenemen (Hohenblum et al., 2015). Het meten met een grotere maasgrootte zorgt voor een langere meetperiode, en dus een bemonstering van grotere hoeveelheden water hoewel dan natuurlijk alleen grotere plastics worden gevangen.

De stroomsnelheid van de rivier, vermenigvuldigd met het openingsoppervlak van het net, en de meetduur resulteert in het volume water dat wordt gemeten over de meetsessie. Dit een belangrijke parameter om de hoeveelheden en concentraties plastic in de rivier te peilen (Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, 2021). De hoeveelheid plastic wordt vaak vermeld als totaal aantal of massa per volume-eenheid. Het is daarbij van belang dat aantal en massa vaak tegengesteld werken. Bij aantal kan de data gedomineerd worden door veel kleine lichte deeltjes zoals vezels. Bij massa kan de data gedomineerd worden door enkele zwaardere stukken afval.

De relatie tussen de waterkolom en de oppervlakte moet goed in de gaten gehouden worden. Een meting die zich specifiek richt op de waterkolom moet zijn bovenste net niet te dicht bij het oppervlakte laten komen omdat de fractie drijvend plastic versus plastic zwevend in de waterkolom groot kan zijn. Daarentegen is juist door deze grote drijvende fractie in veel rivieren ook de oppervlakte van interesse. In rivieren met grote hoeveelheden drijvend plastic zoals polyethyleentereftalaat (PET) flessen en geëxpandeerd polystyreen (EPS) schuim, zal een te diep net deze niet kunnen opvangen (Wendt-Potthoff et al., 2020a). Het combineren van een dieptemeting met een oppervlaktemeting door een oppervlakte-specifiek net aan het systeem toe te voegen geeft inzicht in de relatie oppervlakte-waterkolom. Daarbij moet dan wel een netsysteem gebruikt worden dat zich stabiel houdt aan de oppervlakte van de rivier zodat de onderzoeker zeker weet wat het volume aan water is dat door de mond van het net stroomt.

## 3.2 Platform voor gebruik netten

Het meten zelf kan vanaf verschillende structuren gedaan worden (Tabel 2). In grotere rivieren kunnen de metingen worden uitgevoerd door dynamische bemonsteringen vanaf boten die een net slepen. De metingen moeten buiten het zog of de boeggolven van het schip plaatsvinden om verstoring van de verticale verspreiding van de deeltjes te voorkomen. Er moet ook rekening worden gehouden met mogelijke verontreiniging door de boot, bijvoorbeeld door verfdeeltjes. Dynamische bemonstering kan ook de mogelijkheid bieden om zowel aan de benedenwindse als aan de bovenwindse kant van de rivier te meten, en het effect van de input van lokale puntbronnen te elimineren door de stroomlijnen in de dwarsrichting te kruisen.

Plastic deeltjes kunnen ook worden gevangen met netten die op lange termijn worden uitgezet voor bodemvisserij en waterkolomvisserij, waarbij een deel van het water van de bodem tot een aanzienlijke hoogte van de waterkolom wordt bestreken (González et al., 2016a). Bijvoorbeeld, Morritt et al., (2014) gebruikte fuiken die aan de rivierbedding zijn verankerd om de hoeveelheid ondergedompeld plastic te meten die in de rivieren stroomt. Deze netten hebben dan natuurlijk wel een substantieel grotere maasgrootte die langdurige uitzetting in de rivier toestaat.

Het handmatig uitzetten van netten door te waden in een rivier maakt een exacte positionering met betrekking tot de diepte en de dwarsdoorsnede mogelijk. In doorwaadbare rivieren kunnen de netten gemakkelijk worden uitgezet en enige tijd zonder toezicht in het water blijven als ze aan de rivierbedding worden vastgemaakt door een anker. Wel moet de rivierbodem hierbij geschikt zijn voor het gebruik van een anker. Inzet vanaf rivieroever heeft als nadeel dat slechts een beperkt deel van de dwarsdoorsnede kan worden bemonsterd. Aangezien de horizontale verdeling van het plastic transport sterk kan variëren, kan dit leiden tot niet-representatieve metingen.



Tabel 2 Verschillende soorten gebruikte platformen waar vanaf metingen gedaan worden

Platform	Voor- en nadelen	Bron
Boot	<p><b>Voordelen</b></p> <p>De maximale belasting door de verzamelde zwerfafval en de stroomsnelheid kan aanzienlijk zwaarder zijn dan bij directe inzet; Kan monsters nemen op elke veilige plaats op een rivier zonder beperkt te zijn tot geschikte bruggen zoals in estuaria;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul> <p><b>Nadelen</b></p> <p>Extra apparatuur nodig</p>	Sadri & Thompson, 2014; Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, 2021; Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., 2021; Velimirovic et al., 2022
Hijskraan op brug	<p><b>Voordelen</b></p> <p>De maximale belasting door de verzamelde zwerfafval en de stroomsnelheid kan aanzienlijk zwaarder zijn dan bij directe inzet; Hierdoor kan het ook worden ingezet bij stortregens en voor de bemonstering van de hele waterkolom.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul> <p><b>Nadelen</b></p> <p>Extra apparatuur nodig Ruimte op bruggen of rivieroeveren nodig.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eventuele wegafzetting op brug</li> </ul>	Moore et al., 2011; Hohenblum et al., 2015
Directe inzet vanaf rivieroeveren	<p><b>Voordelen</b></p> <p>Relatief kleine en lichte netten; Snelle en flexibele inzet; Geen extra machines.</p> <p><b>Nadelen</b></p> <p>Hangen sterk af van de beschikbaarheid van veilige inzetplaatsen (op bruggen of toegankelijke rivieroeveren); Het monstervolume en de massa worden ook beperkt door de maximale belasting die degenen die de netten hanteren aankunnen; Een beperkt deel van de doorsnede kan worden bemonsterd.</p>	Moore et al., 2011
Directe inzet vanaf brug	<p><b>Voordelen</b></p> <p>Relatief kleine en lichte netten; Snelle en flexibele inzet; Geen extra machines</p> <p><b>Nadelen</b></p> <p>Hangen sterk af van de beschikbaarheid van veilige inzetplaatsen (op bruggen of toegankelijke rivieroeveren); Het monstervolume en de massa worden ook beperkt door de maximale belasting die degenen die de netten hanteren aankunnen. Kan gevaarlijk worden bij hoge afvalaantallen of stroomsnelheden</p>	Rech et al., 2014; van Emmerik et al., 2018; van Emmerik, Tramoy, et al., 2019
Handmatig inzet van netten	<p><b>Voordelen</b></p> <p>Relatief kleine en lichte netten; Snelle en flexibele inzet; Geen extra machines</p> <p><b>Nadelen</b></p> <p>Hangen sterk af van de beschikbaarheid van veilige inzetplaatsen (op bruggen of toegankelijke rivieroeveren); Het monstervolume en de massa worden ook beperkt door de maximale belasting die degenen die de netten hanteren aankunnen.</p>	van Emmerik, Loozen, et al., 2019; van Emmerik, Strady, et al., 2019

Bij de bemonstering vanaf bruggen is gebruik gemaakt van netten met meerdere lagen, ook om op diepere lagen van de waterkolom te bemonsteren (van Emmerik, Loozen, et al., 2019; van Emmerik, Strady, et al., 2019;). De krachten op het bemonsteringsnet kunnen echter moeilijk beheersbaar worden in het geval van verhoogde stroomsnelheden, wat kan leiden tot een slechte uitvoering van meetprotocollen of eventueel gevaar voor de onderzoekers. Het is op bruggen vaak niet mogelijk om technische hulpmiddelen voor het binnenhalen van het net (e.g. lieren of kranen) in te zetten omdat er beperkte ruimte is door verkeer, of het niet mogelijk is om een permanente structuur op te zetten. Dit probleem kan worden opgelost door bemonsteringsnetten uit te zetten vanaf boten of kranen.



Met een boot kan de bemonstering worden uitgevoerd over de rivier in de lengte, in dwarsdoorsnede, met een achthoek, of door stationair te meten waarbij de aandrijving de boot in positie houdt (van der Wal et al. 2015). Dit laatste levert vergelijkbare resultaten op als meten via bruggen. In tegenstelling tot het mariene milieu is bootbemonstering in rivieren tot op heden niet op grote schaal toegepast (Wendt-Potthoff et al., 2020a). Lenaker et al., (2019) hebben met succes gebruik gemaakt van bootbemonstering voor meerdere diepten van de waterkolom in rivieren en meren. Voor bemonstering van sediment op de bodem van rivieren wordt gebruik gemaakt van metalen lepels (zoals voor oevermonsters) of verschillende grijpers, zoals de van veen grab, die gewoonlijk de bovenste 10-15 cm van het sediment bestrijken (Wendt-Potthoff et al., 2020a).

### 3.3 Spreiding netten over de breedte van de rivier

Er kan in het geval van drijvend plasticafval een sterke variatie over de rivierbreedte ontstaan, afhankelijk van stroomomstandigheden (van Calcar & van Emmerik, 2019). Wat onderwater plastics betreft, is hier nog weinig over bekend. Een groot deel van de literatuur over plasticafval in de waterkolom richt zich op één locatie in de rivierdoorsnede (Tabel 3). Deze locatie ligt vaak in of nabij het midden van de rivier, of wordt bepaald door gebieden te identificeren waar hoge concentraties (drijvend) plastic voorkomen (van Emmerik, Loozen, et al., 2019; van Emmerik, Strady, et al., 2019; Velimirovic et al., 2022). Dit kan ook veranderen met de richting van het getij of in verschillende afvoeromstandigheden (van Emmerik, Strady, et al., 2019, Blondel & Buschman, 2022). In sommige gevallen wordt de rand van de rivieroever bemonsterd (Moore et al., 2011; Lechner et al., 2014). Netten die vanaf de rivieroever worden ingezet, worden vaak aan pontons of boten bevestigd, waardoor ze grotere krachten kunnen weerstaan en het mogelijk wordt om met een grotere netmond of fijnere maaswijdtes te meten (Schöneich-Argent et al., 2020; Velimirovic et al., 2022). In ondiepe gebieden kan plastic afval in de waterkolom ook handmatig en eenvoudig worden gemeten met een handnet vanaf de rivieroever (Moore et al., 2011). Vaak is de transversale reikwijdte niet gedetailleerd (Morritt et al., 2014; Lenaker et al., 2019; Schöneich-Argent et al., 2020).

Velimirovic et al., (2022) gebruikten een enkel net met een grote opening (8m) om een groot deel van de waterkolom in één keer te bemonsteren, maar verliest in ruil daarvoor resolutie in de ruimtelijke variatie zowel aan het oppervlak als in de waterkolom. Hohenblum et al., (2015), Liedermann et al., (2018), Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, (2021) en Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., (2021) gebruikten meetstrategieën die op meerdere locaties in zowel de breedte als in de diepte van de rivier monsters verzamelden. Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, (2021) ontwierpen een meetmethode waarbij oppervlaktemonsters werden genomen op drie locaties aan de linker- en rechterkanten, en in het midden van de doorsnede. Dieptemonsters werden in het midden genomen Liedermann et al., (2018) bemonsterden microplastics op 6-7 locaties langs de volledige bevochtigde omtrek van twee dwarsdoorsneden in de Donau met behulp van een meerlaags nettenstelsel. In beide gevallen werd een significante variatie in plasticconcentratie gevonden tussen verschillende locaties in de dwarsdoorsnede.

Tabel 3 Methodiek van spreiding meetlocaties over de breedte van de rivier

Omvang rivierdoorsnede	Bron
3 locaties in de dwarsdoorsnede: linkerkant, rechterkant, en midden.	Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, 2021; Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., 2021
Niet gespecificeerd.	Schöneich-Argent et al., 2020
Groot visnet (8m opening) van verankerd vissersvaartuig aan bakboord en stuurboord.	Velimirovic et al., 2022
Binnen- en buitenbocht dwarsdoorsnede.	Blondel & Buschman, 2022
Eén locatie in het midden.	van Emmerik, Loozen, et al., 2019
Eén locatie: werd bepaald op basis van de heersende stroomrichting en de locaties met de grootste waargenomen hoeveelheid puin.	van Emmerik, Strady, et al., 2019
Niet gespecificeerd.	Morritt et al., 2014
Niet gespecificeerd.	Lenaker et al., 2019
Midden en rand.	Moore et al., 2011
25m van de rivieroever.	Lechner et al., 2014
6 tot 7 locaties in de dwarsdoorsnede.	Liedermann et al., 2018
5 to 10 locaties in de dwarsdoorsnede.	Hohenblum et al., 2015
Vaste positie op rivieroever.	van der Wal et al., 2015

Er werd door Hohenblum et al., (2015) op drie dieptes over 5 tot 10 locaties in twee dwarsdoorsnedes gemeten in de Donau. De auteurs vonden ook hierbij een significant verschil in plastic concentraties en transport over de dwarsdoorsnede, en benadrukken het belang van een multipoint meetstrategie waarbij metingen verdeeld zijn over zowel de breedte als de diepte. Van der Wal et al. (2015) leggen ook nadruk op het belang van het vaststellen van de spreiding van afval over de rivierbreedte. De auteurs merken op dat als er wordt gekozen om op slechts één locatie in



de dwarsdoorsnede te meten, wel moet worden aangetoond dat de concentraties in de gehele dwarsdoorsnede in transversale en verticale richting min of meer gelijk zijn.

Metten op slechts één locatie kan voordelig zijn wanneer het kan worden uitgevoerd voor langere meetperiodes, bijvoorbeeld tijdens overstromingsperiodes of om het effect van verschillende afvoercondities te begrijpen. Van der Wal et al. (2015) adviseren dan om dit bij voorkeur op meerdere locaties en op beide aangrenzende oevers tegelijk uit te voeren. Als er een verband wordt gelegd tussen drijvend afval en plasticafval in de waterkolom, kan ook een beperkte, enkele waterkolommeting, bijvoorbeeld aan de zijkant, geëxtrapoleerd worden op basis van brugtelmetingen over de gehele breedte.

### 3.4 Verticale spreiding over de waterkolom

De meeste inspanningen op het gebied van macroplastic monitoring zijn gericht op drijvend en zwevend plastic afval in de bovenste 1,5 m van de waterkolom (Tabel 4). Gegevens over, en inzicht in, de verticale distributie van plastic afval ontbreekt. Bemonstering in diepere lagen vereist duurdere en arbeidsintensievere methoden (Wendt-Potthoff et al., 2020a). Er wordt in sommige gevallen ook geen onderscheiding gemaakt tussen verschillende dieptes (Velimirovic et al., 2022). Vaak ontstaat er daardoor een compromis tussen het meten op meerdere locaties in een rivier, op meerdere punten in een dwarsdoorsnee, of op meerdere dieptes. Dit kan leiden tot grote verschillen in uiteindelijke transport- en fluxwaardes en maakt het vergelijken van verschillende onderzoeken een uitdaging (Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, 2021). Het standaardiseren van meetmethodes om zwevend plastic afval in de waterkolom waar te nemen is dus van groot belang.

De dieptes die worden gemeten verschillen per onderzoek, en zijn uiteindelijk afhankelijk van de diepte van de rivier zelf. In de literatuur komt vaak voor dat een meting van de rivieroppervlakte wordt gecombineerd met twee à drie metingen van de waterkolom op diezelfde locatie, vaak met een meerlaags net (Hohenblum et al., 2015; Liedermann et al., 2018; Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, 2021; Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., 2021).

Het is ook van belang om dieptemetingen te koppelen aan gelijktijdige oppervlaktemetingen. Dit zou het eventueel mogelijk maken om empirische verbanden te leggen tussen het drijvend plasticafval, wat gemakkelijker te meten is, en plastic afval in de waterkolom. Hiermee kunnen huidige schattingen van plastic fluxen en export worden verbeterd.

Tabel 4 Methodiek van spreiding netten over de waterkolom

Omvang waterkolom	Bron
Oppervlakte metingen tot 0.2m. Vier waterkolom metingen in het midden van de rivier 3m, 6m, 9m, 12m in de Mekong en Tonle Sap. 1.5–2m, 3–4m, 5–6m, and 8m in de Bassac.	Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., 2021
Net onder het oppervlak tot 10 m diepte	Schöneich-Argent et al., 2020
Groot net, dus groot deel van de rivier in 1 keer meegenomen. Geen onderscheid tussen dieptes.	Velimirovic et al., 2022
Oppervlakte metingen tot 0.2 - 0.3 m. Waterkolom metingen op 2.5m en 5m diepte.	Blondel & Buschman, 2022
Oppervlakte 0 - 0.35m en 0.5 - 1.0m in de diepte.	van Emmerik, Loozen, et al., 2019
Oppervlakte 0 - 0.35m en 0.5 - 1.0m in de diepte.	van Emmerik, Strady, et al., 2019
Binnen 0.4m boven de rivierbedding.	Morritt et al., 2014
Metingen op oppervlakte metingen, in het sediment, en waterkolom op 1 tot 4 verschillende dieptes van 0.4 tot 13.7m.	Lenaker et al., 2019
Oppervlakte en boven de rivierbedding.	Moore et al., 2011
Bovenste 50cm (60% van de waterkolom)	Lechner et al., 2014
Waterkolom profiel: oppervlak, in het midden van de waterkolom en vlak boven de rivierbedding	Liedermann et al., 2018
Waterkolom profiel: oppervlak, in het midden van de waterkolom en vlak boven de rivierbedding	Hohenblum et al., 2015
Waterkolom profiel: oppervlakte, 1m diepte and boven het rivierbed op 3.7 tot 4.5m diepte.	Haberstroh et al. 2021a



### 3.5 Het verwerken van opgehaalde monsters

Bij het verwerken van monsters zijn er twee lijnen van analyse te benoemen (Tabel 5). De ene richt zich op parameters zoals grootte, gewicht, vorm, en met behulp van kennis bij de analist of geavanceerde technologie zoals FTIR-spectroscopie de soort polymeer. De andere gebruikt systemen zoals van OSPAR, of de Ocean Conservancy om gevonden afval in categorieën in te delen zoals flesjes, dopjes, zakjes, etc. De eerste manier van analyseren geeft informatie over types plastic en de grootte van de flux plastic die de rivier afkomt. De tweede manier geeft informatie over de bronnen van het afval. De systemen richten zich primair op ongeïdentificeerde categorieën, maar het is vervolgens ook mogelijk om deze verder uit te splitsen door merken die zichtbaar zijn op het gevonden afval. Voor een overzicht van het toepassen van de OSPAR-methode voor rivieren in Nederland, zie van Emmerik et al., 2020a.

Tabel 5 Methodes voor het analyseren van verzamelde monsters

Bron en Methodes	Andere informatie
Morritt et al., 2014 - Categorië	Op basis van de Ocean Conservancy's International Coastal Cleanup data card, waarna zeven hoofdcategorië zijn gebruikt voor verdere analyses
Haberstroh, Arias, Yin, & Wang, 2021 - Categorië	Categoriëren per formaat en macroplastics (>5 mm) zijn niet verder geanalyseerd
Schöneich-Argent et al., 2020 - OSPAR	
Haberstroh, Arias, Yin, Sok, et al., 2021 - Analyseren met ImageJ	Eerst sorteren op grootte (<1 mm, 1-5 mm en >5 mm). Daarna verder analyseren met ImageJ met het Fiji image processing package om hoeveelheid, oppervlakte en vorm te bepalen
Velimirovic et al., 2022 – Analyseren met een Nicolet™ iS™ 10 FTIR Spectrometer	Eerst scheiden in folies (groot oppervlakte:volume ratio) en overig. Daarna zijn folies gesorteerd op grootte (0.5–2.5 cm (mesoplastics); 2.5–5 cm; 5–10 cm; 10–20 cm; 20–30 cm; en groter dan 30 cm). Ook de overige voorwerpen zijn verder gecategoriëerd in bijvoorbeeld verpakkingen, deksels, (piep)schuim, etc. Van een deel (7%) van de gevonden plastics zijn de polymeren geanalyseerd met een Nicolet™ iS™ 10 FTIR Spectrometer. Van een deel daarvan was ook de minerale compositie bepaald (Velimirovich et al., 2022).  Deze manier van plastic types identificeren is veelbelovend, maar dient nog wel verder onderzocht te worden.
Chakraborty et al., 2022 - Raman spectroscopie	Geeft het exact plastic polymeer type
van Emmerik et al., 2018 - Categorië	Deelt de bemonsterde kunststof in zeven categorië in (PET, PS, EPS, PP/PE-zacht, PP/PE-hard, neerlagen, andere) op basis van een opzoektabel. Na categoriëren, kan de massa en het aantal items van elke categorië worden gemeten.  <b>Voordelen</b> Gemakkelijke toepassing; Eerste orde schatting van het polymeertype; Een beperkt aantal categorië  <b>Nadelen</b> Items kunnen verkeerd gecategoriëerd worden.
Bruge et al., 2018 – Categorië	De lijst is geïnspireerd op de OSPAR-lijst en aangepast aan de omstandigheden in de rivieren. Categorië die in de OSPAR-lijst ontbraken waren aangevuld o.b.v. items die vaak op de oevers waren gevonden (bijv. plastic bloempotten, plastic bloemen, landbouwzeil). Het lijst bevat 130 categorië voorwerpen. Elk item werd gekenmerkt door het materiaal en gebruik. Het rooster bevat negen materiaalcategorië (kunstmatige polymere materialen, papier en karton, metaal, rubber, glas en keramiek, bewerkt en verwerkt hout, chemicaliën, doek en textiel, ongedefinieerd materiaal) en 10 gebruikscategorië (voedsel- en drankverpakkingen, rookwaren, visserijafval, gewone huishoudelijke artikelen, recreatieve visserij en jacht, industriële verpakkingen en bouwafval, landbouwzeil en -verpakkingen, divers, onbekend).
González-Fernández et al., 2021; González-Fernández & Hanke, 2017	(1) visuele observatie als monitoringmethode, (2) de JRC Floating Litter Monitoring-applicatie (app) als instrument voor gegevensverzameling en rapportage, (3) de MSFD (Marine Strategy Framework Directive) -lijst van zwerfafvalcategorië als richtlijn voor de identificatie van drijvend macro zwerfafval (4) Berekening van de zwerfafvalflux: Voor elke monitoringssessie, door het aantal gemeten antropogene items te delen door de metingstijd en spoorbreedte (items h-1 m-1).



## 3.6 Methodes zonder net

Naast het monitoren van zwerfafval door een net in de rivier te hangen, worden er ook andere methodes gebruikt om het zwerfafval te kwantificeren. Veel van deze methodes zijn echter niet gebruikt om de waterkolom te meten. Gezien de kleine hoeveelheid bestaande literatuur voor waterkolommetingen, kunnen ze toch waardevolle inzichten opleveren. Hier zijn vooral de sonar en pomp-filtratiesystemen van belang die echter wel in de waterkolom zijn gebruikt, waar de sonarmethode macroplastics meet, en de pomp-filtratiesystemen voornamelijk voor microplastics worden gebruikt. Hieronder volgt een lijst met korte beschrijvingen:

**Sonar:** Het gebruik van sonar wordt gezien als een veelbelovende techniek om zwevend zwerfafval te detecteren. Deze techniek is tot nu toe in Nederland en Spanje op experimentele- en veld-schaal toegepast. Broere et al., (2021) heeft een “proof of concept” ontwikkeld waarin de op sonar gebaseerde technologie kan worden gebruikt om macroplastic voorwerpen in de waterkolom te detecteren, hoewel verdere ontwikkeling nodig is voordat echo-sounding op grote schaal kan worden toegepast.

**Trackers:** Traceermethoden zijn een andere manier om het gedrag van zwerfafval te monitoren. Het volgen van de route van plastic voorwerpen is een controlemethode die niet vaak wordt gerapporteerd (Wendt-Potthoff et al., 2020a). Er zijn twee hoofdcategorieën: actief volgen met behulp van GPS, en passief volgen door het vrijlaten van gemerkte voorwerpen die kunnen worden gerapporteerd zodra ze zijn teruggevonden (Emmerik & Schwarz, 2020). Bij beide van deze methodes ligt de focus voornamelijk op drijvend plastic afval.

**Brug-metingen:** In plaats van het plastic direct te vangen of te volgen, kan het transport van drijvend plastic zwerfafval ook worden gekwantificeerd door visuele metingen vanaf bruggen. Door in elke rivier hetzelfde protocol te gebruiken, kunnen consistente metingen van drijvend plastic afval worden gedaan in tijd en ruimte (van Calcar & van Emmerik, 2019). In González-Fernández & Hanke, (2017) en González-Fernández et al., (2021) is de sleutel tot een geharmoniseerde aanpak voor het gegevensverzameling en -rapportage van 58 rivieren in Europa het gebruik van de JRC Floating Applicatie voor toezicht op zwerfafval. De applicatie is een speciaal gemeenschappelijk instrument voor real-time documentatie van drijvend macro (>2.5 cm) gegevens die zijn verkregen tijdens visuele metingen.

**Zwerfafvalvallen, bomen en drijvers:** In Nederland is een handvol zwerfafvalopvangsystemen ontwikkeld en ingezet, zoals de Great Bubble Barrier en Shoreliner. Zulke zwerfafvalopvangsystemen zijn belangrijke referentieprojecten omdat zij, naast hun primaire taak van het verwijderen van zwerfafval, ook kunnen worden gebruikt om waardevolle gegevens te verkrijgen over de samenstelling van zwerfafval (van Emmerik & Vriend, 2021). Afvalbomen zijn drijvende barrières die het afval naar een opvangkooi leiden. De maaswijdte van de opvangkooi houdt doorgaans geen kleine deeltjes tegen, aangezien de toestellen ontworpen zijn voor gebruik op langere termijn. Zij kunnen kleinere rivieren volledig bedekken of in kanalen worden ingezet. Er worden specifieke drijvers met kleine openingen in verhouding tot de rivierbreedte gebruikt voor het monitoren van zwerfafval. Een voorbeeld van een kooiachtige drijfstructuur die is ontwikkeld voor het monitoren van zwerfafval is de Waste Free Waters (WFW) sampler, die twee metalen netten bevat waarmee monsters kunnen worden genomen aan de oppervlakte en onder de oppervlakte (20-70 cm diepte). De WFW-monsternemer is getest met verschillende maaswijdten, hetgeen heeft geleid tot de aanbeveling om bij een opening van 1 meter een maaswijdte van 3-4 mm te gebruiken voor een optimale monitoring zonder verstoppingen (González et al., 2016a). Een bekend probleem bij dit soort systemen is dat ze de doorvaart over de rivier kunnen belemmeren. Dit betekent dat ze of kortstondig ingezet kunnen worden, of er wordt gebruik gemaakt van barrières onder een hoek zodat het afval zich verzamelt, maar schepen tussen de barrières doorkunnen (zie bijvoorbeeld de Interceptor technologie van the Ocean Cleanup). De Great Bubble Barrier heeft een andere oplossing door met een scherm van luchtbellen te werken. Afval wordt hierdoor tegengehouden, maar schepen kunnen er doorheen varen.

**Pomp-filtratiesystemen:** De filtratie van water dat via een pompsysteem wordt bemonsterd, vormt een alternatief voor het gebruik van netten voor het verzamelen van microplastics. Dit vereist pompsystemen met een zeer groot volume en filtratie-eenheden die het gebruik van kleine mazen mogelijk maken zonder dat de filters gedurende langere perioden verstopt raken. Permanente installatiestructuren zouden dan een frequentere of geïntegreerde bemonstering mogelijk maken (González et al., 2016a). Het gebruik van pompen is vooral interessant bij het bemonsteren van puntbronnen van vervuiling zoals riooluitlaten. Hierdoor kunnen plastics worden gemeten zonder dat er een stroming door een net gegenereerd hoeft te worden.

**Kunstmatige structuren:** Bij barrières zoals stuwen, dammen en sluizen kan worden verwacht dat zwerfafval zich ophoopt (González et al., 2016a).



### 3.6 Andere tips en lessen

De variabiliteit in ruimtelijke en temporele aspecten van methodes in de bestaande literatuur benadrukt het belang van aanpasbaarheid van meetprotocollen om te voldoen aan rivier- en locatie- specifieke omstandigheden. De uiteindelijke meetmethode zal waarschijnlijk moeten worden geoptimaliseerd op basis van veldexperimenten op de gekozen locatie(s). Het is hierbij vooral belangrijk om zeker te zijn dat de meetmethodes een representatief beeld schetsen van hoe het plastic afval zich op de gekozen locatie gedraagt.

De hoeveelheid zwerfafval in rivieren kan in de tijd sterk variëren. Om deze variatie voor een monitoringsprogramma in kaart te brengen zijn methodes die op middellange- of langetermijn zwerfafval(data) verzamelen van belang. Bijvoorbeeld maandelijks of driemaandelijks. Om het effect van verschillende afvoer- en milieumomstandigheden in beeld te krijgen moeten de monitoringactiviteiten verschillende seizoenen en milieumomstandigheden omvatten.

Om het effect van extreme stroomcondities te peilen, zoals hevige regenval, overstromingen, of juist laagwateromstandigheden, zullen extra monitoringsactiviteiten nodig zijn met een hogere meetfrequentie door de snel veranderende omstandigheden. Deze extremere omstandigheden zijn belangrijk om een geheel beeld te krijgen van de ware hoeveelheden en het volledige gedrag van plastic zwerfafval in de rivier, vooral omdat een snel stijgende rivier veel afval vanaf de oevers kan mobiliseren (González-Fernández & Hanke, 2017).

Wanneer monitoringlocaties in een getijdenomgeving moeten worden geplaatst, moet de timing van de observatie/bemonsteringsactiviteit zodanig worden georganiseerd dat reproduceerbare resultaten worden verkregen (van Emmerik, Strady, et al., 2019; Blondel & Buschman, 2022). Tijdelijke of intermitterende rivieren zullen ook een specifieke strategie vereisen, zoals het kwantificeren van zwerfafval in de droge rivierbedding vóór de seizoensgebonden waterafvoer, of bij het begin van de overstroming van de rivierbedding.

### 3.7 Internationale databases met meetresultaten

Er zijn verschillende internationale databases beschikbaar op het gebied van zwerfafval in het milieu<sup>1</sup>. Het grote merendeel daarvan heeft echter informatie verzameld over zout water en stranden. Hierna volgt een korte beschrijving van een paar databases die ook zoet waterdata bevatten. De litter intelligence database<sup>2</sup> heeft data over zwerfafval op stranden en oevers van verschillende landen in Oceanië. Qua rivieroevers bestaan de data alleen uit vijf metingen in Nieuw-Zeeland. Plastic Pirates<sup>3</sup> is een Europees initiatief dat jongeren helpt met het organiseren van burgerwetenschapsmetingen op de oevers van rivieren. Op dit moment zijn gegevens beschikbaar over 513 metingen. Litterbase<sup>4</sup> is van een heel andere grootte. Deze database die beheerd wordt door onderzoekers van het Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research in Bremen bevat meer dan 3000 wetenschappelijke publicaties. Het merendeel van de publicaties en de online portal van de database richten zich op afval in zout water, maar Lebreton et al., (2022) gebruikten deze database als startpunt voor hun review van studies over plastics in zoet water. Ze haalden 238 publicaties over zoet water uit Litterbase. Maar een klein aantal van de gereviewde publicaties in (Lebreton et al., 2022) richtten zich op de waterkolom (Figuur 1).

### 3.8 Bruikbaarheid van resultaten voor aanpakken zwerfafvalprobleem

De bruikbaarheid van resultaten uit monitoring naar zwerfafval in het milieu is afhankelijk van meerdere factoren. Ten eerste moeten waarden betrouwbaar zijn, een goede inschatting geven van het systeem waar ze in gemeten worden, en met elkaar vergelijkbaar zijn. Al deze onderwerpen zijn afhankelijk van het monitoringsprotocol dat wordt uitgevoerd. Zoals uit de eerdere hoofdstukken blijkt is er groot verschil tussen gebruikte methodes en eenheden in de verschillende studies. Dit maakt vergelijking tussen resultaten zeer complex of zelfs onmogelijk. Initiatieven en rapporten die dan ook werken richting meer gestructureerde monitoringsprogramma's en internationale standaardisatie zijn dan ook zeer waardevol (González et al., 2016b; Wendt-Potthoff et al., 2020b).

Zoals eerder vermeld, kunnen resultaten van zwerfafvalmonitoring twee vormen van informatie genereren. Ten eerste kan de flux van afval door de rivier berekend worden. Dit geeft een beeld van de totale plasticlast in de rivier en op weg

<sup>1</sup> <https://internationalwasteplatform.org/databases/>

<sup>2</sup> <https://litterintelligence.org/data/>

<sup>3</sup> <https://www.plastic-pirates.eu/en>

<sup>4</sup> <https://litterbase.awi.de/>





naar zee. Ten tweede genereert een methode zoals de OSPAR-richtlijn (aangepast aan meten van rivieren (van Emmerik et al., 2020b) informatie over types plastic zoals flesjes en zakken, of zelfs specifieke merken van zulke types, zodat duidelijke bronnen van het zwerfafval aangewezen kunnen worden en daar prioriteit aan kan gegeven worden. Hierdoor is vervolgens beleid mogelijk dat deze bronnen aanpakt zoals het invoeren van statiegeld of het verplichten van een prijs voor plastic zakjes.



## 4 Conclusie

Hieronder worden de onderzoeksvragen beantwoord. Door de beperkt beschikbare literatuur over het specifiek meten van zwerfafval in de waterkolom en de zeer verschillende methodes in die literatuur is het niet mogelijk om concrete antwoorden (e.g. welke dieptes, hoe vaak per jaar) te geven.

### **Welke factoren moeten in acht worden genomen bij het bepalen van de meest geschikte meetlocaties? Het gaat hierbij om zowel de lengte- als dwarsdoorsnede van de rivier**

Meetlocaties langs een rivier moeten ten eerste een representatief beeld geven van de afvalconcentratie in de rivier. Lokale oevermorfologie en structuren in het water zoals pieren of bruggen moeten meegenomen worden in de geschiktheidsanalyse van locaties om te voorkomen dat metingen beïnvloed worden door het effect dat deze structuren op de waterstroom hebben. Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met bochten in de rivier waardoor zwevend afval zich door de stroming anders kan gedragen dan op rechte stukken van de rivier. Het is belangrijk om de keuze van locaties af te laten hangen van lokale observaties van hoe de stroming zich gedraagt.

Over de breedte van de rivier is het belangrijk om als mogelijk op meerdere locaties te meten om de variatie over de dwarsdoorsnede in beeld te krijgen. Dit werd in eerder onderzoek gedaan door een breed net over het merendeel van de rivier te spannen, maar dat is geen reële optie voor de rivieren waar het te ontwikkelen meetprotocol gebruikt zal worden. Voor de flexibiliteit die nodig is om meerdere locaties over de breedte van de rivier te bemonsteren zou een mobiel systeem met een onderzoeksvaartuig meerwaarde hebben. Een probleem daarbij is de vraag of vanaf een mobiel platform tot diep in de rivier gemeten kan worden.

Als er een verband tussen drijvend plastic en plastic in de waterkolom wordt gelegd, zou de behoefte aan metingen die consequent de hele breedte van de rivier omvatten kunnen worden verminderd. Dan zouden metingen van een enkele locatie eventueel kunnen worden geëxtrapoleerd naar de gehele breedte. Dit vereist echter wel een toegewijd monitoringsplan of veel meer fundamenteel onderzoek naar het effect van stroming en plastic types op de verticale verdeling.

Bij het bepalen van meetlocaties moet ook ander gebruik van de rivier meegenomen worden. Veiligheid van veldwerkers is van groot belang, dus activiteiten zoals scheepvaart moeten geen risico's voor veldwerkers creëren op de meetlocaties.

### **Op hoeveel locaties dient onderzoek te worden gedaan om een representatief inzicht te krijgen in het zwerfafval in de waterkolom?**

Er zal zoals bij elk onderzoek een afweging gedaan moeten worden wat de meest waardevolle inzet van het budget is. Bij de monitoring in rivieren gaat dit tussen meer locaties, of meer metingen per locatie. In de literatuur wordt geadviseerd om het onderzoek meer te richten op een beperkt aantal locaties en daardoor extra metingen over de dwarsdoorsnede te maken. Ook wordt er sterk aanbevolen om de focus te leggen op frequentere metingen onder verschillende stroomomstandigheden dan te focussen op meerdere locaties. Dit betref bijvoorbeeld metingen tijdens normale omstandigheden, bij hoog en laagwater, en ad-hoc metingen tijdens extreme condities of overstromingsomstandigheden. Deze metingen zorgen, wanneer ze over een lange tijdsperiode worden uitgevoerd, voor betere inzichten in de lokale verschillen in plastic transport op de temporele schaal.

### **Op welke diepte(s) dient onderzoek gedaan te worden?**

Het merendeel van eerder onderzoek richtte zich op de bovenste 1,5 m van de waterkolom. Dit lijkt echter voornamelijk ingegeven door een makkelijker uit te voeren, en minder dure, methodiek. Extrapolatie van dit soort onderzoek kan echter een vertekend beeld geven door de heterogene dichtheid van zwerfafval over de waterkolom. Waar wel de diepere waterkolom is meegenomen, lijkt de verdeling over die waterkolom ingegeven door de lokale omstandigheden in de rivier, maar het aantal studies dat dit gedaan heeft is erg beperkt. Het wateroppervlak wordt wel vaak meegenomen in metingen. Drijvend afval kan zich heel anders gedragen dan zwevend afval in de waterkolom, dus een toevoeging van een oppervlaktenet aan een systeem van meerdere netten dieper in de waterkolom zou zeer waardevol zijn om de relatie tussen drijvend en zwevend afval in beeld te krijgen.



**Hoe vaak per jaar dient minimaal onderzoek in de waterkolom gedaan te worden om een representatief inzicht te krijgen in het zwerfafval in de waterkolom en in welke periodes van het jaar?**

Zoals eerder gezegd zal er zoals bij elk onderzoek een keuze gemaakt moeten worden hoe het budget zo efficiënt mogelijk ingezet kan worden. Naast locaties langs de rivier en over de breedte en diepte van de rivier weegt ook hoe vaak gemeten wordt zwaar mee in deze keuze. In de literatuur wordt aangeraden om de onderzoeksinspanning vooral te richten op vaker en langduriger meten op minder locaties. Dit om de lokale variabiliteit over de tijd in beeld te krijgen. Denk hierbij aan maandelijks tot driemaandelijks metingen, over een periode van bijvoorbeeld een jaar. In periodes van het jaar waarin snel veranderende omstandigheden worden verwacht zoals snelle toename van afvoer moet de meetfrequentie verhoogd worden om de daar bijhorende toegenomen variabiliteit in plastic concentratie in de rivier te kunnen meten.

**In hoeverre dragen de resultaten bij aan het verkrijgen van kennis en inzicht in het aanpakken van het zwerfafvalprobleem in rivieren en de zee?**

De gegenereerde data uit de verschillende onderzoeken geven twee vormen van informatie:

- Massa en dichtheid van plastics in de rivier over tijd waarmee de flux naar zee berekend kan worden
- Massa en dichtheid van specifieke soorten afval zoals flesjes, tasje, etc. waarmee bronnen van zwerfafval in de rivier geïdentificeerd kunnen worden.

Waar de eerste vorm voornamelijk bijdraagt aan algemene informatie over hoe groot het probleem is, en mogelijk input kan leveren voor modellen die berekenen waar het afval eindigt, wijst de tweede vorm van informatie directe bronnen van afval aan (of zelfs specifieke merken van producten) waardoor beleid mogelijk is om die bronnen van zwerfafval aan te pakken. Om het uiteindelijke aantal plastic afval in te schatten wat door rivieren naar de zee wordt afgevoerd, is echter meer kennis nodig over de rol van getijden en estuaria. Dit is zeker ook waar voor onderwater plastic waar het zoutgehalte gradiënt, naast de plastic eigenschappen, de verticale spreiding kan beïnvloeden.



## Referenties

- Blondel, E., & Buschman, F. A. (2022). Vertical and Horizontal Plastic Litter Distribution in a Bend of a Tidal River. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.861457>
- Broere, S., van Emmerik, T., González-Fernández, D., Luxemburg, W., de Schipper, M., Cózar, A., & van de Giesen, N. (2021). Towards Underwater Macroplastic Monitoring Using Echo Sounding. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.628704>
- Bruge, A., Barreau, C., Carlot, J., Collin, H., Moreno, C., & Maison, P. (2018). Monitoring litter inputs from the Adour river (southwest France) to the marine environment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/jmse6010024>
- Chakraborty, I., Banik, S., Biswas, R., Yamamoto, T., Noothalapati, H., & Mazumder, N. (2022). Raman spectroscopy for microplastic detection in water sources: a systematic review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04505-0>
- Emmerik, T., & Schwarz, A. (2020). Plastic debris in rivers. *WIREs Water*, 7(1). <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1–2), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.007>
- Faure, F., Corbaz, M., Baecher, H., & de Alencastro, L. (2012). Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea. *Archives Des Sciences*, 65(1–2), 157–164.
- Faure, F., Demars, C., Wieser, O., Kunz, M., & de Alencastro, L. F. (2015). Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environmental Chemistry*, 12(5), 582. <https://doi.org/10.1071/EN14218>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- González, D., Hanke, G., Tweehuysen, G., Bellert, B., Holzhauer, M., Palatinus, A., Hohenblum, P., & Oosterbaan, L. (2016a). Riverine Litter Monitoring - Options and Recommendations - Thematic Report. In *JRC Scientific and Technical Reports* (Issue February). <https://doi.org/10.2788/461233>
- González, D., Hanke, G., Tweehuysen, G., Bellert, B., Holzhauer, M., Palatinus, A., Hohenblum, P., & Oosterbaan, L. (2016b). Riverine Litter Monitoring - Options and Recommendations - Thematic Report. In *JRC Scientific and Technical Reports* (Issue February). <https://doi.org/10.2788/461233>
- González-Fernández, D., Cózar, A., Hanke, G., Viejo, J., Morales-Caselles, C., Bakiu, R., Barceló, D., Bessa, F., Bruge, A., Cabrera, M., Castro-Jiménez, J., Constant, M., Crosti, R., Galletti, Y., Kideys, A. E., Machitadze, N., Pereira de Brito, J., Pogojeva, M., Ratola, N., ... Tourgeli, M. (2021). Floating macrolitter leaked from Europe into the ocean. *Nature Sustainability*, 4(6), 474–483. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00722-6>
- González-Fernández, D., & Hanke, G. (2017). Toward a harmonized approach for monitoring of riverine floating macro litter inputs to the marine environment. *Frontiers in Marine Science*, 4(MAR), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00086>
- Haberstroh, C. J., Arias, M. E., Yin, Z., Sok, T., & Wang, M. C. (2021). Plastic transport in a complex confluence of the Mekong River in Cambodia. *Environmental Research Letters*, 16(9), 095009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2198>
- Haberstroh, C. J., Arias, M. E., Yin, Z., & Wang, M. C. (2021). Effects of hydrodynamics on the cross-sectional distribution and transport of plastic in an urban coastal river. *Water Environment Research*, 93(2), 186–200. <https://doi.org/10.1002/wer.1386>



- Hohenblum, P., Frischenschlager, H., Reisinger, H., Konecny, R., Uhl, M., Mühlegger, S., Habersack, H., Liedermann, M., Gmeiner, P., Weidenhiller, B., Fischer, N., & Rindler, R. (2015). *Plastik in der Donau (Plastics in the Danube) (No. REPORT REP-0547)*. <http://www.umweltbundesamt.at/>
- Kuizenga, B., van Emmerik, T., Waldschläger, K., & Kooi, M. (2022). Will it Float? Rising and Settling Velocities of Common Macroplastic Foils. *ACS ES&T Water*, 2(6), 975–981. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00467>
- Lebreton, L., Kooi, M., Mani, T., Mintenig, S., Tekman, M., van Emmerik, T., & Wolter, H. (2022). Plastics in Freshwater Bodies. In *Plastics and the Ocean: Origin, Characterization, Fate, and Impacts* (pp. 199–225).
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., & Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*, 188, 177–181. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>
- Lenaker, P. L., Baldwin, A. K., Corsi, S. R., Mason, S. A., Reneau, P. C., & Scott, J. W. (2019). Vertical Distribution of Microplastics in the Water Column and Surficial Sediment from the Milwaukee River Basin to Lake Michigan. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12227–12237. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03850>
- Liedermann, M., Gmeiner, P., Pessenlehner, S., Haimann, M., Hohenblum, P., & Habersack, H. (2018). A Methodology for Measuring Microplastic Transport in Large or Medium Rivers. *Water*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/w10040414>
- Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11(1), 65–73. [http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-194\\_Moore.pdf](http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-194_Moore.pdf)
- Morritt, D., Stefanoudis, P. v., Pearce, D., Crimmen, O. A., & Clark, P. F. (2014). Plastic in the Thames: A river runs through it. *Marine Pollution Bulletin*, 78(1–2), 196–200. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.035>
- Naidoo, T., Glassom, D., & Smit, A. J. (2015). Plastic pollution in five urban estuaries of KwaZulu-Natal, South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 101(1), 473–480. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.044>
- Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Jofre Madariaga, D., & Thiel, M. (2014). Rivers as a source of marine litter – A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 82(1–2), 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.019>
- Sadri, S. S., & Thompson, R. C. (2014a). On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.020>
- Sadri, S. S., & Thompson, R. C. (2014b). On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.020>
- Schöneich-Argent, R. I., Dau, K., & Freund, H. (2020). Wasting the North Sea? – A field-based assessment of anthropogenic macrolitter loads and emission rates of three German tributaries. *Environmental Pollution*, 263, 114367. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.114367>
- Tweehuysen, G. (2015). *Results of riverine macroplastics sampling with the Waste Free Waters sampler*.
- van Calcar, C. J., & van Emmerik, T. H. M. (2019). Abundance of plastic debris across European and Asian rivers. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124051. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5468>
- van der Wal, M., van der Meulen, M., Tweehuysen, G., Peterlin, M., Palatinus, A., Kovač Viršek, M., Coscia, L., & Kržan, A. (2015). *SFRA0025: Identification and Assessment of Riverine Input of (Marine) Litter*.
- van Emmerik, T., Kieu-Le, T.-C., Loozen, M., van Oeveren, K., Strady, E., Bui, X.-T., Egger, M., Gasperi, J., Lebreton, L., Nguyen, P.-D., Schwarz, A., Slat, B., & Tassin, B. (2018). A Methodology to Characterize Riverine Macroplastic Emission Into the Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00372>



- van Emmerik, T., Loozen, M., van Oeveren, K., Buschman, F., & Prinsen, G. (2019). Riverine plastic emission from Jakarta into the ocean. *Environmental Research Letters*, 14(8), 084033. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab30e8>
- van Emmerik, T., Mellink, Y., Hauk, R., Waldschläger, K., & Schreyers, L. (2022). Rivers as Plastic Reservoirs. *Frontiers in Water*, 3. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.786936>
- van Emmerik, T., Strady, E., Kieu-Le, T.-C., Nguyen, L., & Gratiot, N. (2019). Seasonality of riverine macroplastic transport. *Scientific Reports*, 9(1), 13549. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50096-1>
- van Emmerik, T., Tramoy, R., van Calcar, C., Alligant, S., Treilles, R., Tassin, B., & Gasperi, J. (2019). Seine Plastic Debris Transport Tenfolded During Increased River Discharge. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00642>
- van Emmerik, T., & Vriend, P. (2021). *Roadmap litter monitoring in Dutch rivers*. <https://doi.org/10.18174/537439>
- van Emmerik, T., Vriend, P., & Roebroek, J. (2020a). *An evaluation of the River-OSPAR method for quantifying macrolitter on Dutch riverbanks* (Issue 5160957973). <https://research.wur.nl/en/publications/c6b4572c-f38b-4a41-9728-f75e47b86492>
- van Emmerik, T., Vriend, P., & Roebroek, J. (2020b). *An evaluation of the River-OSPAR method for quantifying macrolitter on Dutch riverbanks* (Issue 5160957973).
- Velimirovic, M., Teunkens, B., Ghorbanfekr, H., Buelens, B., Hermans, T., van Damme, S., Tirez, K., & Vanhaecke, F. (2022). What can we learn from studying plastic debris in the Sea Scheldt estuary? *Science of the Total Environment*, 851(August), 158226. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158226>
- Vriend, P., van Calcar, C., Kooi, M., Landman, H., Pikaar, R., & van Emmerik, T. (2020). Rapid Assessment of Floating Macroplastic Transport in the Rhine. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00010>
- Wendt-Potthoff, K., Avellán, T., Emmerik, T. van, Hamester, M., Kirschke, S., Kitover, D., & Schmidt, C. (2020a). *Monitoring plastics in rivers and lakes : guidelines for the harmonization of methodologies*. UNEP.
- Wendt-Potthoff, K., Avellán, T., Emmerik, T. van, Hamester, M., Kirschke, S., Kitover, D., & Schmidt, C. (2020b). *Monitoring plastics in rivers and lakes : guidelines for the harmonization of methodologies*. UNEP.



## Colofon

### QUICKSCAN MONITORINGSMETHODEN VOOR ZWERFAFVAL IN DE WATERKOLOM

#### KLANT

Rijkswaterstaat

#### AUTEUR

Simone van Langen, Anusha Sanjeev Mehta, Romi Lotcheris

#### PROJECTNUMMER

30141498

#### ONZE REFERENTIE

TJYYC5K22ZN6-1978230039-321:0.1

#### DATUM

27 september 2022

#### STATUS

Concept

#### GECONTROLEERD DOOR

Nanne van Hoytema  
Senior Marien ecoloog

Tim van Emmerik  
Assistent professor hydrologie

#### VRIJGEGEVEN DOOR

Nanne van Hoytema  
Senior Marien ecoloog

## Over Arcadis

Arcadis is een toonaangevend wereldwijd ontwerp- en consultancybureau voor de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij maken het verschil voor onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Met 27.000 mensen in meer dan 70 landen genereerden we in 2020 een omzet van €3,3 miljard. Wij ondersteunen UN-Habitat met kennis en expertise om leefomstandigheden te verbeteren in gebieden getroffen door de gevolgen van de klimaatverandering.

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

### **Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

**Arcadis.** Improving quality of life

**Volg ons op**



[arcadis-nederland](https://www.linkedin.com/company/arcadis-nederland)



[arcadis\\_nl](https://twitter.com/arcadis_nl)



[ArcadisNetherlands](https://www.facebook.com/ArcadisNetherlands)