

Monitoringsontwikkelpject drijvend zwerfafval in rivieren

Eindrapport

DATUM

9 mei 2023

AUTEURS

Yvette Mellink, Tim van Emmerik, Simone van Langen en Anne de Weme

Colofon

Yvette Mellink, Onderzoeker Zwerfafval, Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer, Wageningen University & Research (yvette.mellink@wur.nl)

Tim van Emmerik, Assistant Professor Hydrologic Sensing, Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer, Wageningen University & Research (tim.vanemmerik@wur.nl)

Simone van Langen, Specialist Rivierkunde, Arcadis (simone.vanlangen@arcadis.com)

Anne de Weme, Hoofd Adviesgroep Rivier, Kust en Zee, Arcadis (anne.deweme@arcadis.nl)

Versie: april 2023

Dit rapport is geschreven in opdracht van Rijkswaterstaat.

Dit werk valt onder een **Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal-licentie (CC BY 4.0)**.

© 2023 Y. Mellink, T. van Emmerik, S. van Langen en A. de Weme

Referentie: Mellink, Y., van Emmerik, T., van Langen, S. & de Weme, A. (2023). *Monitoringsontwikkelproject drijvend zwerfafval in rivieren*.

Trefwoorden: zwerfafval, monitoren, rivieren

Voorwoord

Zwerfafval in rivieren brengt risico's met zich mee voor natuur, mens, en milieu. Om passende maatregelen te nemen is kennis nodig over hoeveel, waar, wanneer, en welk type zwerfafval in de rivieren drijft. Een structurele monitoring is essentieel voor het verkrijgen van deze kennis en het beantwoorden van de belangrijkste beleids- en beheersvragen vanuit de rijksoverheid. Aan de basis van dit project ligt het WUR Meetprotocol dat in 2021 door Wageningen Universiteit en Research (WUR) is ontwikkeld (van Emmerik & de Lange, 2021). Door middel van kwaliteitsexperimenten is de representativiteit, betrouwbaarheid en validiteit van het WUR Meetprotocol geëvalueerd. Dit eindrapport presenteert de resultaten van de representativiteits-, betrouwbaarheids- en validiteitsexperimenten en de corresponderende aanscherpingen die hebben geleid tot de vernieuwde versie: "Meetmethodiek voor de monitoring van drijvend zwerfafval in rivieren", de Meetmethodiek in het kort. Daarnaast is in het kader van dit project is een jaarmeting uitgevoerd (in de periode februari 2022 t/m februari 2023) waarin iedere maand de drijvende zwerfafvalstroom in Nederlandse rivieren de Rijn, Maas en IJssel is gemeten. Dit eindrapport presenteert en analyseert de resultaten van deze jaarmeting. Dit project is uitgevoerd door de Arcadis en WUR in opdracht van Rijkswaterstaat.

Samenvatting

Zwerfafval in rivieren is een groeiend probleem en een doelgerichte aanpak vereist kennis over de processen die bepalen waar, wanneer, en welk type zwerfafval zich in de Nederlandse Rijkswateren bevindt. De essentiële basis voor die kennis is een structurele landelijke monitoring. Het reeds bestaande WUR Meetprotocol ligt aan de basis van dit project. De ontwerpkeuzes in het WUR Meetprotocol zijn door middel van kwaliteitsexperimenten getest op in hoeverre ze representatieve, betrouwbare, en valide metingen opleveren. Naar aanleiding van de bevindingen van deze kwaliteitsexperimenten is de “Meetmethodiek voor de monitoring van drijvend zwerfafval in rivieren” (de Meetmethodiek) opgesteld. Het is een uitvoerbare en kostenefficiënte methodiek voor het structureel monitoren van drijvend zwerfafval in de Rijn, Maas en IJssel in Nederland. De Meetmethodiek is nog in ontwikkeling en is ondanks de kwaliteitsexperimenten en verbeteringen uit dit project nog niet volledig gevalideerd.

In het kader van dit project is ook een jaarmeting uitgevoerd waarin maandelijks in de periode maart 2022 t/m februari 2023 op tien bruggen verspreid over de Rijn, Maas en IJssel de drijvend zwerfafvalstroom gemeten is. Deze jaarmeting heeft aangetoond dat de drijvend zwerfafvalstroom verschilt tussen verschillende locaties, maar ook door de tijd op dezelfde locatie fluctueert. Op sommige locaties zijn pieken in de zwerfafvalstroom rond de zomer- en/of wintermaanden gemeten. Het gemiddeld aantal zwerfafvalitems dat in een uur voorbij drijft is 84 (op basis van alle metingen op alle locaties). Correlatietests hebben aangetoond dat de fluctuaties en pieken in de drijvend zwerfafvalstroom niet gecorreleerd zijn aan het debiet van de rivier. Tot op heden werden zwerfafvalitems gevonden op oevers representatief gehouden voor de drijvend zwerfafvalstroom. Binnen dit project is aangetoond dat oeveritems over het algemeen zwaarder zijn dan de items drijvend in de rivier. Naar aanleiding hiervan is door RWS een nieuwe dataset ontwikkeld met de massa's van zwerfafvalitems die daadwerkelijk zijn ingevangen in een rivier. De zwerfafvalstromen gevonden tijdens de jaarmeting zijn aan de hand van deze vernieuwde massadataset omgezet naar massatransporten. Het massatransport, op basis van alle metingen op alle locaties, is gemiddeld 0,7 kg/uur.

Summary in English

Floating litter in rivers is of growing concern due to its numerous negative impacts on nature and humans. Effective mitigation measures require a fundamental understanding of the processes that govern where, when and what type of litter is present afloat at the surface of rivers. For this a systematic monitoring is key. Visual counting efforts from bridges is a commonly used method for the monitoring of floating litter in rivers. This method is documented in the WUR Monitoring Protocol, which is the starting point of this project. The first aim of this project was to test some of the method designs in this protocol and assess its ability to produce representative, reliable and valid measurements. For this a set of quality assessment experiments were performed, which led to an optimized protocol with a new name: "The Measuring methodology". This methodology allows for a practicable and cost-efficient monitoring of the floating litter fluxes in the Dutch Rhine, Meuse and IJssel rivers. This new methodology is still under development and not completely validated yet, despite the improvements made based on the experiments.

The second aim of this project was to assess the current scope of the problem of floating litter in the Dutch rivers. For this, monthly measurements were executed in the period March 2022 to February 2023 on ten locations across the Rhine, Meuse and IJssel rivers. The results of these measurements demonstrate that floating litter fluxes vary in space and time. While at some locations the fluxes are relatively constant through time, other locations showed peak litter fluxes in summer and/or winter months. On average 84 litter items per hour float by in the Dutch rivers (average is based on alle measurements and all locations). Correlation tests revealed that the floating litter flux at none of the locations was correlated to the river's discharge. Finally, the floating litter measurements expressed in number of items per hour have been converted to mass fluxes. This was done using a dataset on the mass of floating litter that had been trapped from Dutch rivers (which was demonstrated to be much more representative than the mass of riverbank litter items). With this an average mass flux of 0,7 kg/hour was found (average is based on alle measurements and all locations).

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
Summary in English	5
Woordenlijst	7
1 Introductie	9
2 Methode	10
2.1 Het WUR Meetprotocol	10
2.2 Kwaliteitsexperimenten	12
2.3 Meetmethodiek	15
2.4 Beantwoording van de negen onderzoeksvragen	16
3 Methode jaarmeting 2022-2023	20
3.1 Monitoringslocaties	20
3.2 Monitoringsperiode en -frequentie	21
3.3 Dataopslag	21
3.4 Correlatie met hydrologie	21
3.5 Massa van drijvende zwerfafvalitems	22
4 Resultaten jaarmeting 2022-2023	23
4.1 Drijvend zwerfafvalstromen in rivieren	23
4.2 Drijvend zwerfafvalstroom en hydrologie	23
4.3 Type drijvende zwerfafvalitems	26
4.4 Drijvende zwerfafvalstroom uitgedrukt in massa per tijdseenheid	27
5 Discussie jaarmeting	29
6 Conclusies	31
Referenties	32
Bijlagen	33

Woordenlijst

<i>Zwerfafval</i>	Niet verzameld afval dat mensen bewust of onbewust weggooien of achterlaten op plaatsen die daar niet voor bestemd zijn, of door indirect toedoen of nalatigheid van mensen op die plaatsen is terechtgekomen. Niet verzameld marktafval en drijfval behoren eveneens tot de categorie zwerfafval. Organisch afval (bijv. takken, bladeren, groente en fruit) vallen niet onder zwerfafval.
<i>Compartimenten</i>	Afzonderlijk deel van een groter geheel. Hier bijvoorbeeld gebruikt voor delen van de rivier: rivieroever, de waterkolom, sediment (bodem) en wateroppervlak.
<i>Methodiek</i>	Een reeks handelingen die uitgevoerd moeten worden om iets te meten, bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> - meetplannen: locaties, periodes etc. - meettechniek: welke variabelen worden precies gemeten en hoe? - meetprotocollen: gedetailleerde beschrijving van procedures die moeten worden gevolgd bij het meten van een bepaalde variabele. - de manier van data-analyse.
<i>Meetmethodiek</i>	Het rapport "Meetmethodiek voor de monitoring van drijvend zwerfafval in rivieren" dat binnen dit project is opgesteld.
<i>(WUR) Meetprotocol</i>	Het rapport dat door de WUR is opgesteld tijdens het pilot project in 2021 om de methodiek voor de monitoring van drijvend zwerfafval te beschrijven.
<i>Ontwerpkeuze</i>	Een concrete keuze die aangeeft hoe invulling wordt gegeven aan een onderdeel van de methodiek. Het kiezen van het aantal minuten dat wordt waargenomen is een voorbeeld van een ontwerpkeuze.
<i>Kwaliteitsexperiment</i>	Experiment dat de kwaliteit van een werkwijze beoordeeld. Een kwaliteitsexperiment richt zich veelal op de betrouwbaarheid, validiteit en/of representativiteit.
<i>Correlatieanalyse</i>	Statistische methode die gebruikt wordt om te onderzoeken of, en eventueel hoe sterk, twee variabelen van elkaar afhangen.
<i>Brugsegment</i>	Een deel van het brugwegdek. Voor elk brugsegment wordt de zwerfafvalstroom bepaald van het wateroppervlak dat zich loodrecht onder dit deel van de brug bevindt. Het brugsegment bestaat uit een observatiegebied en een extrapolatiegebied.
<i>Observatiegebied</i>	Het deel van het wateroppervlak dat in het gezichtsveld van de waarnemer op de brug ligt. Dit deel van het wateroppervlak wordt dus direct (actief) waargenomen.
<i>Extrapolatiegebied</i>	Het deel van het wateroppervlak dat buiten het gezichtsveld van de waarnemer op de brug ligt. Dit deel van het wateroppervlak wordt niet waargenomen. De zwerfafvalstroom voor dit deel van het brugsegment wordt berekend door de waarnemingen in het observatiegebied in de ruimte te extrapoleren.
<i>Benedenstroomse kant</i>	De stroomafwaartse kant van de brug ligt aan de kant van de monding van de rivier. Met uitzondering van het getijdengebied stroomt de rivier van je weg als je aan de benedenstroomse kant van de brug staat.
<i>Veldwerkformulier</i>	Het formulier waarop de veldwerker op de brug de observaties registreert.
<i>Antropogeen</i>	Alles wat van menselijke oorsprong is of door de mens wordt teweeggebracht.
<i>Polyolefinen</i>	Verzamelnaam voor alle kunststoffen die op moleculair niveau bestaan uit ketens van enkel koolstof en waterstof.
<i>Zwerfafvalstroom</i>	Het aantal zwerfafval items dat binnen een bepaalde tijd verplaatst wordt.

Massatransport

De massa van (zwerfafval) items dat binnen een bepaalde tijd verplaatst wordt.

1 Introductie

Zwerfafval vormt een van de grootste hedendaagse problemen voor mens en milieu. Zwerfafval wordt door het Landelijk afvalbeheerplan gedefinieerd als “...niet verzameld afval dat mensen bewust of onbewust weggooien of achterlaten op plaatsen die daar niet voor bestemd zijn, of door indirect toedoen of nalatigheid van mensen op die plaatsen is terechtgekomen. Niet verzameld marktafval en drijfval behoren eveneens tot de categorie zwerfafval”. Zowel mens als milieu merken de gevolgen van de toenemende hoeveelheden zwerfafval op land, in rivieren en in zee. Dieren raken verstrengeld of zien kleine stukken ervan aan voor voedsel (Kühn & Van Franeker, 2020). Daarnaast kan de groei van planten worden belemmerd (de Souza Machado et al., 2019). Bovendien leidt plastic vervuiling tot economische schade in sectoren als de scheepvaart, landbouw, visserij en toerisme (Brouwer et al., 2017; Beaumont et al., 2019; Thushari & Senevirathna, 2020), maar ook drinkwaterbedrijven en waterkrachtcentrales kampen met verstoppingen en schade aan de infrastructuur. Er zijn dringend maatregelen nodig die de hoeveelheid zwerfafval in het milieu verminderen en daarmee de negatieve gevolgen beperken. Een geschikte aanpak zal zowel moeten voorkomen dat zwerfafval naar zee stroomt als dat zwerfafval lang in het milieu blijft en de kans krijgt uiteen te vallen in micro(plastic)deeltjes. Voor het ontwikkelen van de juiste aanpak is kennis nodig over de bronnen en samenstelling van zwerfafval, maar ook inzicht in hoe, waar, en wanneer zwerfafval zich verplaatst en ophoopt. Een structurele monitoring vormt de essentiële basis voor het verkrijgen van deze kennis en inzichten.

Zwerfafval bevindt zich in verschillende compartimenten van riviersystemen: op rivieroever, zwevend in de waterkolom, in sediment, en drijvend aan het wateroppervlak, (van Emmerik & Schwarz, 2020). Dit project richt zich op het zwerfafval dat aan het wateroppervlak van rivieren drijft (in de bovenste 10 cm). In het verleden zijn er diverse relatief kleinschalige monitoringsprojecten uitgevoerd met als doel het in kaart brengen van de drijvend zwerfafvalstroom in de Nederlandse Rijkswateren. Echter werden deze projecten vaak door verschillende stakeholders (overheden, NGO's, kennisinstituten, bedrijven en burgers) los van elkaar uitgevoerd. Het ontbreekt aan een landelijke en structurele monitoring van de drijvend zwerfafvalstroom in rivieren. Om deze reden is dit monitoringsontwikkelproject uitgevoerd dat als doel heeft het ontwikkelen van een structurele, uitvoerbare, kostenefficiënte en betrouwbare methodiek voor het monitoren van drijvend zwerfafval. Deze methodiek moet de rijksoverheid van de informatie voorzien die nodig is om passend beleid en maatregelen voor preventie, reductie en mitigatie op te stellen. In 2021 heeft de Wageningen Universiteit in opdracht van RWS een pilot uitgevoerd dat resulteerde in een meetprotocol (Wadman & van Emmerik, 2021; van Emmerik & de Lange, 2021). Dit meetprotocol ligt aan de basis van dit project. Een van de doelen van dit project is het WUR Meetprotocol gereed maken voor langetermijn-monitoring. Dit is gedaan door de ontwerpkeuzes van het WUR Meetprotocol zorgvuldig te testen door middel van kwaliteitsexperimenten. Hierbij wordt onder andere gekeken naar meetduur, de dichtheid van meetpunten en de karakteristieken van waarneembare items. Naar aanleiding van de bevindingen van deze kwaliteitsexperimenten is de Meetmethodiek opgesteld die geschikt geacht wordt voor een structurele langetermijn-monitoring van de drijvend zwerfafvalstroom in de Nederlandse delen van de Rijn, Maas en IJssel. De naam is veranderd van 'protocol' naar 'methodiek', omdat het document naast het meetprotocol, ook het meetplan, de meettechniek en de data-analyse omschrijft. Deze methodiek is nog in ontwikkeling en zal dus nog verder geoptimaliseerd worden. Verder heeft dit project als doel een jaarmeting uit te voeren in de periode maart 2022 en februari 2023. In het eerste half jaar wordt het originele WUR Meetprotocol gebruikt, voor het tweede half jaar de nieuwe Meetmethodiek. De jaarmeting heeft als doel het vaststellen van de huidige situatie en omvang van het probleem.

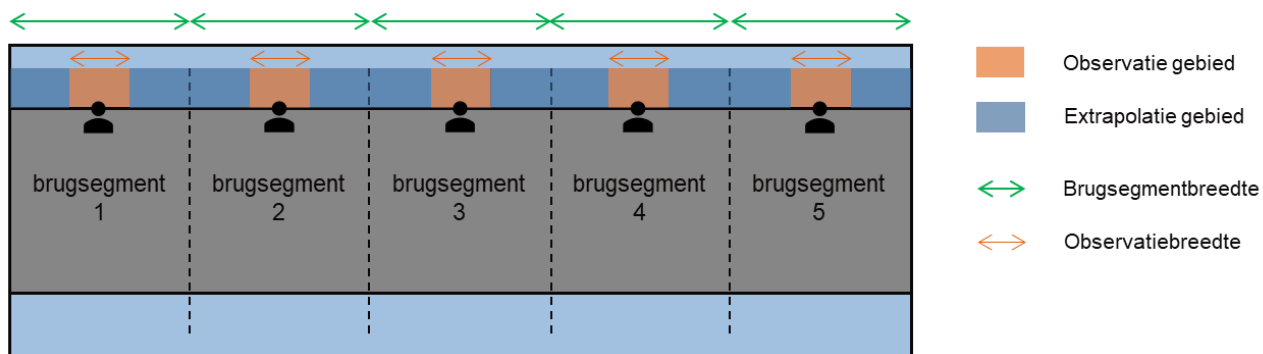
De opbouw van dit rapport volgt de volgorde waarin de werkpakketten van dit project zijn uitgevoerd. De methoden sectie beschrijft eerst kort het WUR Meetprotocol en gaat dan verder met het uiteenzetten van de bevindingen van de kwaliteitsexperimenten die zijn uitgevoerd om ontwerpkeuzes binnen het WUR Meetprotocol te testen. Vervolgens wordt toegelicht hoe de nieuwe Meetmethodiek tot stand is gekomen en hoe deze verschilt van het WUR Meetprotocol. Direct daaropvolgend worden negen onderzoeksvragen die aan het begin van dit project zijn gedefinieerd beantwoord. De methode sectie sluit af met een gedetailleerde beschrijving van de methode die gebruikt is voor de jaarmeting. In de resultaten-sectie worden de resultaten van de jaarmeting gepresenteerd en geanalyseerd. Hier wordt ingegaan op zowel de trends in tijd en ruimte van de drijvend zwerfafvalstroom, als de materiaalsamenstelling van de drijvend zwerfafvalstroom. Daarnaast worden de resultaten van correlatieanalyses toegelicht tussen hoeveelheid zwerfafval en rivierafvoer. Verder worden de drijvend zwerfafvalstromen in massatransportstromen gepresenteerd. Tot slot wordt in de discussie de resultaten van de jaarmeting in perspectief gezet en worden mogelijke verklaringen voor de waargenomen trends in tijd en ruimte van de drijvend zwerfafvalstroom besproken.

2 Methode

Voor het monitoren van drijvend zwerfafval in rivieren wordt het meetprotocol van de Wageningen Universiteit gebruikt. Deze meetmethode bestaat uit het visueel observeren van de drijvend zwerfafvalstroom in rivieren vanaf bruggen. Dit hoofdstuk beschrijft achtereenvolgens (1) het WUR Meetprotocol (voor details verwijzen wij naar Wadman & van Emmerik (2021) en van Emmerik & de Lange (2021)), (2) de kwaliteitsexperimenten (voor details verwijzen wij naar de individuele experimentmemo's die in bijlage 1 t/m 4 aan dit rapport zijn toegevoegd), (3) de Meetmethodiek (voor details verwijzen wij naar Arcadis & WUR (2023)), en (4) de beantwoording van de negen onderzoeksvragen.

2.1 Het WUR Meetprotocol

De meetmethode in het WUR Meetprotocol bestaat uit het visueel observeren van de drijvend zwerfafvalstroom in rivieren vanaf bruggen. De monitoringslocatie is een brug over een rivier. De brug wordt opgedeeld in een aantal brugsegmenten (Figuur 1), omdat de gehele rivierbreedte vaak niet vanaf één observatiepunt op de brug waargenomen kan worden. Hoe breder de brug, hoe meer brugsegmenten vereist zijn. Theoretisch gezien moet om 100% van het wateroppervlak te observeren, de totale rivierbreedte gedeeld worden door de breedte van het observatiegebied (het deel van het wateroppervlak dat binnen het gezichtsveld ligt van een waarnemer op de brug). In het WUR Meetprotocol worden minstens drie en maximaal tien brugsegmenten vastgesteld en wordt de breedte van het observatiegebied vastgesteld op 15 meter. Aangezien hierdoor vaak minder dan 100% van de rivierbreedte direct geobserveerd wordt, moeten de waarnemingen geëxtrapoleerd worden. Figuur 1 laat een.



Figuur 1. Schematisch bovenaanzicht van een brug met vijf brugsegmenten en hun bijbehorende observatie- en extrapolatiegebieden.

De waarnemingen worden uitgevoerd door waarnemers die in het midden van de brugsegmenten staan. De waarnemers staan aan de benedenstroomse kant van de brug, zodat de voorbijrijvende zwerfafvalitems van onder de brug vandaan komen. Wanneer er geen veilige staplaats is aan de benedenstroomse kant van de brug wordt aan de bovenstroomse kant gemeten. De meetduur per brugsegment is 5 minuten en elk brugsegment wordt vier maal bemeten tijdens een meetronde. De waarnemingen worden met het blote oog gedaan. Elke waarnemer heeft een veldwerkformulier. Op het veldwerkformulier wordt voor elke meting de datum, de starttijd van de meting, de naam van de waarnemer, de naam van de brug, het brugsegment ID-nummer, en de meetduur genoteerd. Wanneer onverwachts de meting gestaakt moet worden, wordt het aantal waargenomen minuten tot de onderbreking genoteerd. Indien dit korter is dan 3 minuten dient de meting opnieuw uitgevoerd te worden (de oude meting wordt genegeerd). Indien het aantal waargenomen minuten langer is dan 3 minuten, dan wordt op het veldwerkformulier in de kolom meetduur de daadwerkelijk gemeten minuten en seconden genoteerd. Deze regel is ingevoerd omdat sommige bruggen regelmatig open gaan waardoor de metingen te vaak onderbroken en herhaald moeten, met als gevolg dat de totale veldwerkplanning in het geding komt.

Elk voorbijrijvend antropogeen zwerfafvalitem, dat waargenomen wordt, wordt geclassificeerd op materiaaltipe (Tabel 2). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen plastic en niet-plastic materiaal. De plastic categorieën omvatten de meest voorkomende plastic polymeertypen en zijn gebaseerd op de plastic categorieën die vaak in de wetenschappelijke literatuur worden gebruikt (Seibert et al., 2019; SPOTTERON GmbH, 2019; van Emmerik et al., 2020). De verschillende typen polyolefinen (PO, een van de plastic categorieën die wordt gebruikt) zijn zonder chemische analyse niet van elkaar te onderscheiden. Om toch een distinctie in de groep polyolefinen te maken, wordt er onderscheid gemaakt tussen 'PO zacht' (bijvoorbeeld tassen en folies) en 'PO hard' (bijvoorbeeld shampooflessen en doppen) items. De andere plastic materiaalcategorieën (PET, PS, ML, PS-E) zijn over het algemeen goed met het blote oog te onderscheiden.

Tabel 1. Materiaal categorieën waarin de waargenomen drijvende zwerfafval items ingedeeld worden. De niet-plastic categorieën staan schuingedrukt.

Categorie	Beschrijving	Voorbeelden
PET	Producten gemaakt van polyethyleentereftalaat (doorzichtig)	Drinkflessen, maaltijdsalade bakken
PO Zacht	Zachte producten gemaakt van polyolefinen	Tassen, zakken, folies
PO Hard	Harde producten gemaakt van polyolefinen	Melkflessen, shampooflessen
PS	Producten gemaakt van polystyreen	Rietjes, bestek, wegwerpbekers, snackbarbakjes
ML	Producten bestaande uit twee lagen (veelkleurig)	Voedselverpakkingen
E-PS	Producten gemaakt van geëxpandeerd polystyreen	Piepschuim, piepschuim eetbakjes
Overig plastic	Plastic items waarvan de categorie niet bepaald kon worden	-
<i>Rubber</i>	Producten gemaakt van rubber	Ballonnen, auto-/fietsbanden
<i>Textiel</i>	Producten gemaakt van textiel	Kleding
<i>Papier</i>	Producten gemaakt van papier of karton	Parkeerbonnen, kranten, karton, sigaretten
<i>Hout</i>	Producten gemaakt van bewerkt hout	Planken, houten kisten, ijsstokjes
<i>Metaal</i>	Producten gemaakt van metaal (waaronder ook aluminium)	Drankenblikjes, aluminiumfolie
<i>Glas</i>	Producten gemaakt van glas	Bier-/wijnflessen
<i>Sanitair</i>	Producten met een sanitair functie	Gezichtsreinigingsdoekjes, maandverband
<i>Medisch</i>	Producten met een medische functie	Injectienaalden, mondkapjes
<i>Overig niet-plastic</i>	Niet-plastic items waarvan de categorie niet bepaald kon worden	-

De ruwe velddata bestaat uit tellingen die per brugsegment aangeven hoeveel en welk type drijvend zwerfafval in een bepaalde tijdperiode zijn waargenomen. Om deze ruwe velddata om te zetten naar een zwerfafvalstroom voor de gehele rivier worden de volgende stappen genomen.

Ten eerste wordt op basis van de vier metingen voor elk brugsegment (i) de gemiddelde zwerfafvalstroom wordt berekend:

$$\bar{f}_i = \frac{f1_i + f2_i + f3_i + f4_i}{4} \quad (1)$$

waarin $f1/f2/f3/f4$ de zwerfafvalstroom (in aantal items/5 min) aanduidt van de 1^e/2^e/3^e/4^e meting op brugsegment i .

Vervolgens worden de gemiddelde zwerfafvalstromen van alle brugsegmenten geëxtrapoléerd naar de delen van het wateroppervlak die niet direct waargenomen zijn (de extrapolatiegebieden, zie Figuur 1). Voor deze extrapolatie wordt aangenomen dat bij een S aantal brugsegmenten, de meting van een brugsegment representatief is voor $1/S^{\text{de}}$ deel van de totale rivierbreedte. Deze extrapolatie is opgenomen in de formule waarmee de totale drijvende zwerfafvalstroom (F) voor de gehele rivierbreedte op een monitoringslocatie berekend wordt:

$$F = \sum_{i=1}^S \left(\left(\frac{\bar{f}_i}{w_i} \right) \cdot \left(\frac{W}{S} \right) \cdot T \right) \quad (2)$$

waarin i een brugsegment aanduidt, S het totaal aantal brugsegmenten op de brug, \bar{f}_i de gemiddelde zwerfafvalstroom gemeten op brugsegment i (aantal items/tijdseenheid), w_i de observatiebreedte op brugsegment i (15 m), W de totale rivierbreedte ten hoogte van de desbetreffende brug (m), en T een factor om de tijdseenheid van F te bepalen (bij $T = 1$, heeft F dezelfde tijdseenheid als \bar{f}_i). De eenheid die doorgaans gebruikt wordt voor \bar{f}_i is aantal items/5 min. Door voor T dan een waarde van 12 te gebruiken, wordt de totale zwerfafvalstroom (F) uitgedrukt in items/uur.

2.2 Kwaliteitsexperimenten

Aan de basis van dit project liggen negen onderzoeksvragen (Box A). Voor het beantwoorden van deze vragen zijn in de startfase van het project tien kwaliteitsexperimenten voorgelegd en besproken in een klankbordgroep. De kwaliteitsexperimenten hadden als doel het evalueren van de representativiteit, betrouwbaarheid en/of validiteit van ontwerpkeuzes in het WUR Meetprotocol. RWS en de deelnemers van de klankbordgroep hebben aangegeven welke kwaliteitscontroles prioriteit hadden en op basis hiervan zijn vier kwaliteitsexperimenten uitgekozen en uitgevoerd binnen dit project. Voor elk van deze vier experimenten is een memo opgeleverd aan RWS met daarin een gedetailleerde beschrijving van de methode, resultaten, en conclusies. Dit hoofdstuk geeft een beknopt overzicht van de methoden en resultaten van de vier uitgevoerde kwaliteitsexperimenten (voor details verwijzen we naar de experimentmemo's in bijlagen 1 t/m 4). Daarnaast geven we, daar waar kan, antwoord op de negen onderzoeksvragen (Box A).

Box A

1. Wat is de betrouwbaarheid, validiteit en representativiteit van het bestaande meetprotocol van de WUR waarmee drijvend afval gemeten wordt?
 - a) Is het huidige protocol geschikt en valide (meet het wat wij willen meten) om het drijvend afval in beeld te brengen en de beleids- en beheersvragen (A tot en met G) te beantwoorden?
 - b) Zijn de referentiemetingen uit het protocol die gebruikt worden om het volume en massa van het drijvende afval te bepalen voldoende representatief (zie ook vraag 4)?
 - c) Welke ontwerpkeuzes moeten gemaakt worden om representatieve metingen uit te voeren? Denk hierbij aan bijvoorbeeld de meetlocaties, aantal meetlocaties, meetfrequentie en momenten van meting.
 - d) In hoeverre is het protocol geschikt om betrouwbare metingen uit te voeren?
2. Hoe ziet een doorontwikkeld (op basis van de uitkomsten van vraag 1) monitoringsprogramma voor drijvend zwerfafval eruit dat de boven genoemde beleids- en beheersvragen (A tot en met G) kan beantwoorden, gericht op inzicht in trends in tijd? En hoe verhoudt de data die we daarmee vergaren zich tot de data uit het voorgaande protocol?
3. Op welke locaties van de Rijkswateren en op hoe veel locaties moet gemeten worden om een representatief beeld voor Nederland te schetsen?
4. Hoe moet er bepaald worden wat het type, massa en volume is van het drijvende afval? Zijn steekproeven op de oevers daar geschikt voor? Wat is de frequentie van deze steekproeven? Kan er met steekproeven op strategisch gekozen tijden en plekken tot een representatieve database gekomen worden? Moeten het afval van de steekproef opgeruimd worden of is het beter voor de monitoring om dit te laten liggen?
5. Waarmee moet rekening gehouden worden bij het uitvoeren van het veldonderzoek?
 - a) Voorbeelden zijn veiligheid, getijde, areaalbeheer, broedseizoen, etc. nader aan te vullen door resultaten opdrachtnemer;
 - b) Welke hulp- en veiligheidsmiddelen moeten worden ingezet?
6. Wie zal de monitoring vanaf juni 2023 moeten uitvoeren in het kader van Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL)? Geef een aanbeveling en geef de voor- en nadelen van tenminste deze groepen:
 - i. Vrijwilligers aangestuurd door een coördinerende organisatie;
 - ii. Professionele waarnemers;
 - iii. Omgevingsmanagers van RWS of hun aannemers voor onderhoud.
7. Hoe ziet het kwaliteitsborgingproces eruit voor de gegenereerde data? Hoe voert opdrachtnemer de kwaliteitscontrole op de data uit?
8. Hoe ziet de data-overdracht aan RWS eruit, zodat deze goed door RWS beheerd kan worden in een centrale database?
9. Reflectie beleid- en beheersvragen in relatie tot op te leveren producten en verworven inzichten en aanbevelingen in dit project (welke vragen kunnen wel en niet beantwoord worden en waarom).

2.2.1 Tijdsresolutie-experiment

In het WUR Meetprotocol heeft elke waarneming een standaard duur van 5 minuten. Het doel van het tijdsresolutie-experiment was het evalueren van de representativiteit van deze meetduur. De volledige experimentmemo met een uitgebreidere uitleg staat in Bijlage 1. Hier volgt een korte samenvatting met de belangrijkste bevindingen.

Voor dit experiment is de meetduur verhoogd naar 60 minuten en is tijdens die 60 minuten niet alleen het aantal zwerfafvalitems genoteerd, maar ook het exacte tijdstip waarop dat item voorbijdreef. In totaal zijn 18 uur metingen uitgevoerd (op twee verschillende bruggen) die de verdeling van de geobserveerde zwerfafvalitems door de tijd in kaart brachten. In de data-analyse is systematisch elke uur meting op gedeeld in tijdsblokken van $60 - x$ minuten. Vervolgens is op basis van de waarnemingen binnen elk tijdsblok het totaal aantal zwerfafvalitems per uur berekend en vergeleken met het daadwerkelijk aantal waargenomen items. Op deze manier kon voor iedere uur meting bepaald worden hoe lang er gemeten moet worden, zodat de extrapolatie van het aantal items binnen die meetduur in de buurt komt van het daadwerkelijk gemeten aantal zwerfafvalitems in dat uur.

De resultaten van het tijdsresolutie-experiment laten zien dat de zwerfafvalstroom door de tijd extreem variabel is, met andere woorden dat het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende voorbijrijvende zwerfafvalitems niet constant is. Dit maakt het vaststellen van een representatieve meetduur lastig. Over het algemeen geldt uiteraard dat hoe langer de meetduur, hoe dichter de door de tijd geëxtrapolerde zwerfafvalstroom in de buurt komt van de daadwerkelijke zwerfafvalstroom. Daarbij zien we wel dat vooral het verlengen van de meetduur tot ongeveer 10-15 minuten relatief de meeste winst op qua representativiteitsverhoging. Het verhogen van de meetduur levert bij meetduren langer dan 30 minuten relatief weinig op qua representativiteitsverhoging. Met andere woorden, een meetduur verlengen van 5 naar 10 minuten resulteert in een sterkere toename van de representativiteit dan het verlengen van een meetduur van 40 naar 45 minuten. De uur metingen laten daarnaast zien dat de representativiteit van een bepaalde meetduur toeneemt naarmate de vervuilingsgraad van de rivier toeneemt. Neem als voorbeeld een meetduur van 10 minuten, dat levert een representatievere meting op bij een zwaar vervuilde rivier waar 1000 items/uur voorbijrijven dan bij een schonere rivier waar slechts 1 item/uur voorbijrijft. Tot slot heeft het tijdsresolutie-experiment bevestigd dat vier maal 5 minuten meten per brugsegment niet aanzienlijk beter of slechter is voor de representativiteit van de meting dan aaneengesloten 20 minuten meten. De afwijkingfactor van een meetduur van 20 minuten is maximaal 2.5 (150%).

Naar aanleiding van de bovengenoemde bevindingen is de meetduur van 4 keer 5 minuten uit het WUR Meetprotocol overgenomen in de nieuwe Meetmethodiek.

2.2.2 Brugsegmentexperiment

In het WUR Meetprotocol wordt elke brug opgedeeld in een aantal brugsegmenten vanaf waar de waarnemingen gedaan worden. De voornaamste reden hiervoor is dat zwerfafvalstroom over het algemeen niet uniform is over het rivierprofiel. Aangezien de brugsegmentbreedte doorgaans niet gelijk is aan de observatiebreedte moeten de waarneming geëxtrapolerd worden voor de delen van het wateroppervlak die niet direct geobserveerd wordt. Die extrapolatie brengt een onzekerheid met zich mee. Het doel van het brugsegmentexperiment was het in kaart brengen van het aantal brugsegmenten dat nodig is om een zwerfafvalstroom te verkrijgen dat representatief is voor de gehele rivierbreedte. De volledige experimentmemo met een uitgebreidere uitleg staat in Bijlage 2. Hier volgt een korte samenvatting met de belangrijkste bevindingen.

Voor dit experiment zijn de veldmetingen van het Pilot Project van 2021 gebruikt (van Emmerik & de Lange, 2021). Dit data experiment is uitgevoerd voor vijf bruggen, waarvan één met drie segmenten, één met vijf segmenten, en drie met zes segmenten. Per brug is eerst per meetronde de zwerfafvalstroom voor de gehele rivier berekend op basis van alle gemeten segmenten. Deze zwerfafvalstroom is vastgesteld als ijkwaarde voor die brug voor die meetronde. Vervolgens zijn de waarnemingen op individuele brugsegmenten systematisch weggelaten en is op basis van de waarnemingen van de overgebleven segmenten de zwerfafvalstroom opnieuw berekend. Door die zwerfafvalstroom te vergelijken met de ijkwaarde, is de afwijking voor ieder aantal brugsegmenten bepaald.

De resultaten van het brugsegmentexperiment bevestigen de heterogene aard van het zwerfafvalstroomprofiel in veel rivieren. De data-analyse leert ons dat de zwerfafvalstroom met de grootste afwijking van de ijkwaarde (de zwerfafvalstroom op basis van alle brugsegmenten) over het algemeen hoort bij een (of beide) segment(en) vlakbij de oever. De zwerfafvalstromen, berekend op basis van brugsegmenten die rond het midden van de rivier liggen, resulteren in lagere afwijkingen. Het belangrijkste resultaat van het brugsegmentexperiment is dat twee in plaats van een brugsegment meten, leidt tot een 20% lagere afwijking van de zwerfafvalstroom en daarna zorgt elk toegevoegde segment voor een extra afname van 10%. Daarbij moet vermeld worden dat een verschil van 10% voor alle bruggen in dit experiment overeen komt met een afwijking van minder dan 1 zwerfafvalitem per 5 minuten. De orde grootte blijft dus gelijk. Het exacte aantal brugsegmenten kan aan de hand van de (maximaal) toegestane afwijking bepaald worden.

Naar aanleiding van dit experiment is besloten om voor de bruggen die in het landelijke monitoringsprogramma zijn opgenomen het aantal brugsegmenten niet aan te passen. Het is mogelijk om met minder segmenten evengoed een representatieve totale zwerfafvalstroom te bepalen, maar dit zorgt ook voor een verlies aan informatie over de heterogeniteit van de afvalstroom over de

breedte van de rivier. Bovendien zorgt deze keuze ervoor dat de ruimtelijke resolutie van de metingen per brug consistent blijft en de metingen van 2021 makkelijk te vergelijken zijn met toekomstige metingen.

2.2.3 Itemgrootte-experiment

Aan de basis van het WUR Meetprotocol liggen de visuele waarnemingen vanaf de brug. Er zit uiteraard een maximum aan de itemgrootte die met het blote oog vanaf een brug waargenomen kan worden. Het doel van het itemgrootte-experiment was om de waarneembaarheid van drijvende zwerfafvalitems vanaf bruggen te beoordelen, waarbij gekeken is naar de itemgrootte, - kleur, en - vorm. De volledige experimentmemo met een uitgebreidere uitleg staat in Bijlage 3. Hier volgt een korte samenvatting met de belangrijkste bevindingen.

Voor dit experiment zijn mandarijnschillen in stukken met verschillende afmetingen en vormen geknipt. Vervolgens zijn veldexperimenten uitgevoerd waarbij deze stukken schil aan de bovenstroomse kant van de brug in het water zijn gegooid. Tegelijkertijd stond een waarnemer aan de benedenstroomse kant van de brug en noteerde hoeveel stukken zij observeerde. Door voor elke combinatie van afmeting, vorm en kleur, het aantal waargenomen schillen te vergelijken met het aantal ingeworpen schillen kon de waarneembaarheid in kaart gebracht worden. Om de eventuele observer bias in beeld te brengen zijn drie verschillende waarnemers gebruikt. Daarnaast is de invloed van het gebruik van een verrekijker op de waarneembaarheid getest door alle metingen zowel met als zonder verrekijker uit te voeren. Het itemgrootte-experiment is uitgevoerd op een brug waarvan de afstand tussen het wateroppervlak en het brugwegdek 5 meter was en een brug waar die afstand 15 meter was. De laagste brug waar gemonitord wordt volgens de nieuwe Meetmethodiek is 5 meter hoog. Verder is er een brug van 8 meter, zes bruggen tussen de 10 en 15 meter en twee bruggen hoger dan 15 meter hoog (zie Tabel 3 in Paragraaf 3.1).

Om de resultaten van het itemgrootte-experiment te beoordelen is vooraf een definitie vastgesteld voor 'goed waarneembaar': een item categorie wordt als goed waarneembaar beschouwd wanneer $\geq 90\%$ van de ingeworpen items werd waargenomen. Het itemgrootte-experiment laat zien dat items van 1 cm^2 of groter zijn goed waarneembaar op relatief lage bruggen ($\sim 5 \text{ m}$). Voor hogere bruggen ($\sim 15 \text{ m}$) items kleiner dan 4 cm^2 zijn niet meer goed waarneembaar. Het vaststellen van de kleur van een item blijkt lastiger op relatief hoge dan lage bruggen. De vorm van het item daarentegen heeft geen invloed op de waarneembaarheid, ongeacht de brughoogte. Daarnaast bewijst dit experiment dat het gebruik van een verrekijker op een lage brug ($\sim 5 \text{ m}$) de kwaliteit van de waarneming van zwerfafvalitems niet significant verhoogt. Op relatief hoge bruggen leidt het gebruik van een verrekijker in twee derde van de gevallen tot een gelijk of beter resultaat;

Het itemgrootte-experiment toont aan dat het WUR Meetprotocol hoogstwaarschijnlijk een verschillend aandeel van de drijvende zwerfafvalstroom in rivieren monitort afhankelijk van de brughoogte. In andere woorden, zwerfafvalitems met een oppervlakte tussen de 1 en 4 cm^2 worden over het algemeen wel op lage, maar niet op hoge, bruggen waargenomen. Dit betekent dat zwerfafvalitems met een grootte van 1 en 4 cm^2 bij lage bruggen wel in de berekende totale zwerfafvalstroom worden meegenomen, maar op hoge bruggen niet. Om de consequenties hiervan te kunnen kwantificeren, moet de itemgrootte verdeling van de drijvende zwerfafvalstroom bekend zijn. Het is niet mogelijk om vast te stellen welk aandeel van de zwerfafvalstroom gemist wordt op hoge bruggen, zolang we niet weten hoeveel procent van de totale drijvende zwerfafvalstroom uit items met een oppervlakte tussen de 1 en 4 cm^2 bestaat. Op basis van de bevinding op het gebied van de verrekijker is besloten om in de nieuwe Meetmethodiek het gebruik van een verrekijker toe te staan bij toekomstige metingen. De verrekijker dient daarbij niet als zoeker gebruikt te worden, maar meer als verificatie voor de zwerfafvalitems die reeds met het blote oog waargenomen zijn. Het item-grootte-experiment was niet ontworpen om te testen of de materiaalclassificatie beter gaat wanneer een verrekijker gebruikt wordt. De verwachting is wel dat een verrekijker helpt bij het onderscheid maken tussen natuurlijke en antropogene items, en zelfs bij de sub classificatie van verschillende plastic polymeren.

2.2.4 River vs. Oever-experiment

Het monitoren van de drijvende zwerfafvalstroom vanaf bruggen houdt in dat de waargenomen zwerfafvalitems niet bemonsterd worden. Dit betekent dat de eenheid van de metingen altijd in eerst instantie aangeleverd wordt als een aantal items per tijdseenheid. Het streven is om de drijvende zwerfafvalstroom ook in massa per tijdseenheid uit te kunnen drukken zodat deze vergeleken kan worden met de transportstromen van en naar bijvoorbeeld de bodem, sediment, oevers en meren. Bovendien worden productie- en emissiestromen ook doorgaans in massa per tijdseenheid uitgedrukt. Om de verschillende zwerfafvalstromen één-op-één met elkaar te kunnen vergelijken moet een inschatting gemaakt worden van de massa van de drijvende zwerfafvalitems in rivieren.

Het doel van het 'Rivier vs. Oever'- experiment was om te bepalen of de samenstelling en massastatistiek van zwerfafval op oevers representatief is voor het zwerfafval dat in de rivier drijft. Als blijkt dat die twee overeenkomen, dan kan de massa van zwerfafvalitems op oevers gebruikt worden om de massa van de drijvende zwerfafvalstroom in rivieren te benaderen. De volledige experimentmemo met een uitgebreidere uitleg staat in Bijlage 4. Hier volgt een korte samenvatting met de belangrijkste bevindingen.

Voor dit experiment is eerst de samenstelling van de drijvende zwerfafvalstroom dat is waargenomen op een brug vergeleken met de samenstelling van het zwerfafval op de oever vlakbij die brug. Hiervoor is velddata gebruikt van de brug- en oevermetingen van zes locaties die zijn gemonitord binnen het Pilot Project (van Emmerik & de Lange, 2021) gebruikt. In het WUR Meetprotocol worden de drijvende zwerfafvalitems in de rivier onderverdeeld in 16 materiaal categorieën (Tabel 1), terwijl de zwerfafvalitems van de rivieroeveren onderverdeeld worden in 110 Rivier-OSPAR materiaal categorieën (van Emmerik et al., 2020b). Na een harmonisatie van de item categorisering zijn voor elke brug de materiaaltipe verdelingen van de zwerfafvalitems in de rivier vergeleken met die van de zwerfafvalitems op de oever. In een tweede analyse zijn de gemiddelde massa's van de zwerfafvalitems gevonden op oever binnen het Pilot Project (van Emmerik & de Lange, 2021) berekent voor de plastic categorieën: PET, PO zacht, PO hard, PS, E-PS, en 'overig plastic'. Deze gemiddelden zijn vervolgens vergeleken met de gemiddelde massa's van de drijvende zwerfafvalitems verzameld aan het wateroppervlak in de Lekhaven in Rotterdam (Vriend et al., 2021) voor diezelfde plastic categorieën.

De resultaten van het rivier vs. oever experiment tonen dat de materiaalsamenstelling van drijvende zwerfafvalitems in een rivier over het algemeen niet overeenkomt met die van de zwerfafvalitems aan de oever van diezelfde rivier. In de rivier is het aandeel plastic rond de 90%, met in de top drie: PO zacht, ML (meerdere laags voedselverpakkingen) en PO hard items. Op de oevers varieerde het aandeel plastic tussen de 16% en 94%. Opvallend was dat items van bepaalde materiaal categorieën duidelijk meer op de oever dan in de rivier aangetroffen werden. Voorbeelden hiervan waren 'metaal', 'sanitair', en 'textiel'. Een mogelijke interpretatie van deze verschillen is dat oever zwerfafval items voornamelijk van één bron (van land) komen en dat de items in de rivier van meerdere bovenstroomse bronnen afkomstig zijn. Naast verschillen in de bron van het afval zijn andere mogelijke verklaringen de verschillen in drijfvermogen, transportmechanismen en de meetmethoden. Een duidelijk conclusie over de mate van aanspoelen van drijvend naar oever en wegspoelen van oever naar drijvend is niet te trekken. Wat betreft de vergelijking van de massa van oeveritems met (drijvende) rivieritems heeft dit experiment aangetoond dat voor de meeste materiaalcategorieën de gemiddelde massa van oeveritems hoger is dan voor (drijvende) rivieritems. Dit geldt voor de categorieën, PET, PO zacht, PS, en 'overig plastic'. In andere woorden, PET flessen gevonden op een oever wegen gemiddeld meer dan PET flessen drijvend in de rivier. Voor items die onder de categorie PO hard en E-PS vallen was de massastatistiek wel gelijk tussen oever en rivier. Ook hier ligt de verklaring waarschijnlijk in de diversiteit van items die onder eenzelfde materiaalcategorie vallen. Blikjes en oud ijzer vallen beide onder de categorie metaal. Aangezien oud ijzer vooral op oevers en niet drijvend in de rivier wordt aangetroffen, drijft dit de gemiddelde massa van de categorie metaal op oevers op. Bovendien zijn de verzamelde oeveritems niet droog- of schoongemaakt, het gewicht van opgezogen water en aangehechte modder/sediment heeft hoogstwaarschijnlijk ook bijgedragen aan de verhoogde massa van oeveritems.

Het 'Rivier vs. Oever'-experiment toont aan dat voor het uitdrukken van de drijvende zwerfafvalstroom in rivieren in massa per tijdseenheid, niet de gemiddelde massa's van oeveritems gebruikt kunnen worden. Naar aanleiding van deze conclusie is het advies richting RWS uitgebracht om de massa data van oevermetingen niet direct te gebruiken voor de inschatting van de massa van de drijvende zwerfafvalstroom in rivieren. RWS heeft dit advies overgenomen en een project opgezet waarin een kentallendataset voor drijvend zwerfafval is aangelegd die gebruikt kan worden om de massa conversie op een juiste manier uit te voeren. Deze data is uiteindelijk ook gebruikt voor de resultaten in Paragraaf 4.4 van dit rapport.

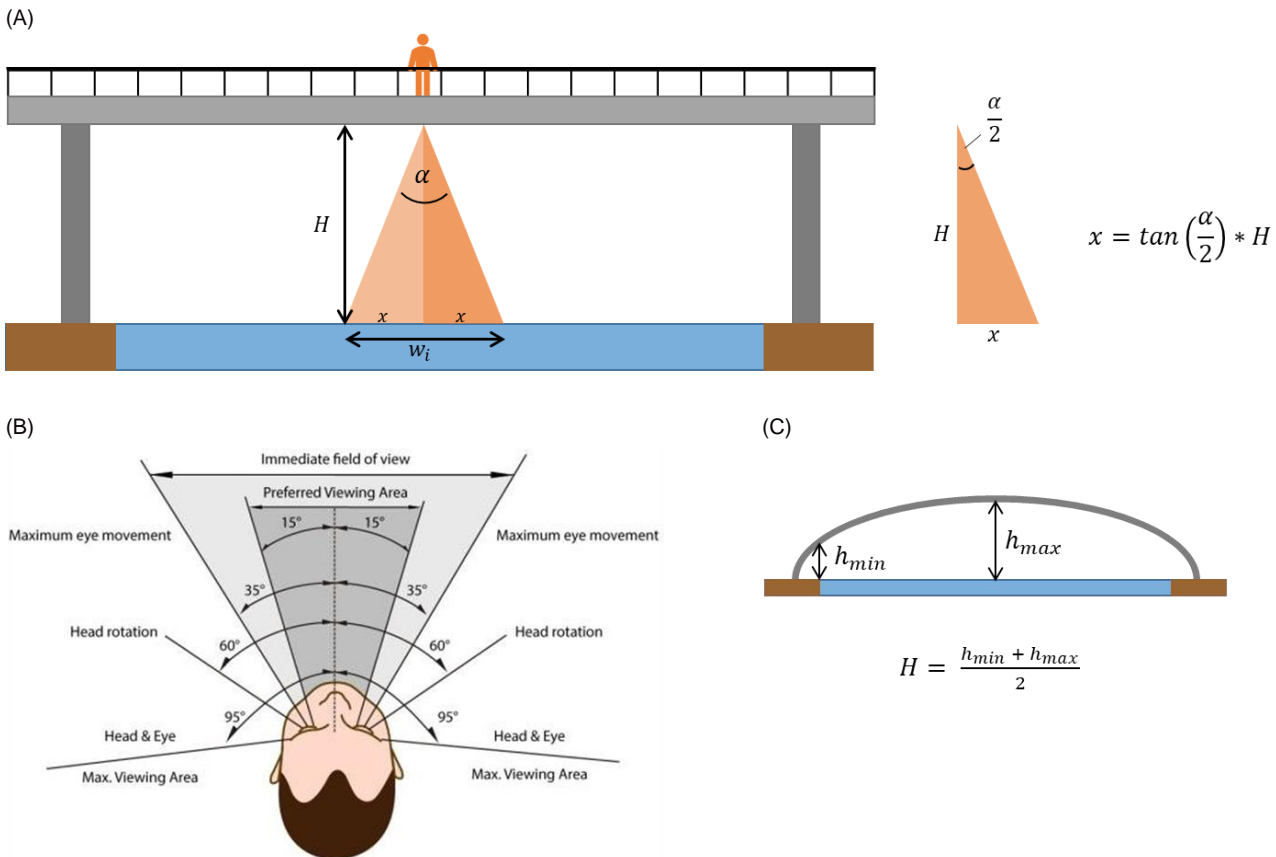
2.3 Meetmethodiek

De Meetmethodiek is door de WUR en Arcadis opgesteld, voor details verwijzen we naar het originele document (Arcadis en WUR, 2023). De naam is veranderd van 'protocol' naar 'methodiek', omdat het document naast het meetprotocol, ook het meetplan, de meettechniek en de data-analyse omschrijft. De Meetmethodiek is in de basis gelijk aan het WUR meetprotocol, omdat de kwaliteitsexperimenten geen directe aanleiding gaven tot grote aanpassingen. Er is wel een aanpassing doorgevoerd met betrekking tot de observatiebreedte. In het WUR meetprotocol wordt de observatiebreedte voor elk segment op elke brug vastgesteld op 15 meter. De waarnemer op de brug krijgt echter geen eenduidige instructie hoe zijn/haar zichtveld te beperken tot 15 meter wateroppervlak. De observatiebreedte hangt in werkelijkheid af van de combinatie van de brughoogte en de kijkhoek. In de Meetmethodiek wordt voor elke brug de observatiebreedte voor alle brugsegmenten berekend met de volgende formule:

$$w_i = 2 * \left(\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) * H \right) \quad (3)$$

waarin α de waarnemerskijkhoek en H de gemiddelde brughoogte is (Figuur 2a). De waarnemerskijkhoek is vastgesteld op 70 graden, aangezien dit de maximale hoek is van het gezichtsveld waarbij de ogen, maar niet het hoofd, gedraaid mogen worden (Figuur 2b). Door de waarnemer op de brug de instructie te geven niet zijn/haar hoofd te draaien kan een waarnemerskijkhoek van 70 graden aangenomen worden (Torrejon et al., 2013). De gemiddelde brughoogte in dit geval is gebaseerd op de hoogte van de brug ten hoogte van (een van) de rivieroever(s) (de minimale hoogte) en de hoogte van de brug boven het wateroppervlak in het midden van de brug (de maximale hoogte) (Figuur 2c). De brughoogte is het verschil tussen de hoogte van het wateroppervlak (meter boven

NAP) en de hoogte van het brugoppervlak (meter boven NAP). De gemiddelde brughoogte hoeft slechts een maal voor elke brug berekend te worden en kan gebruikt worden voor alle metingen die tijdens normale waterstanden uitgevoerd worden. Voor metingen tijdens extreem hoge of lage waterstanden kan de brughoogte, indien gewenst, opnieuw berekend worden.



Figuur 2. (A) Schematisch zijaanzicht van een stuk brug met een waarnemer en zijn waarnemerskijkhoek. De observatiebreedte (w_i) is gelijk aan twee maal de lengte van de korte zijde (x) van een rechthoekige driehoek. De formule rechts geeft aan hoe de lengte van de korte zijde berekend kan worden aan de hand van de waarnemerskijkhoek en de brughoogte. (B) Zichtvelden van het menselijk oog al dan niet met of zonder oog- en/of hoofdrotaties (Torrejon et al., 2013). (C) Schematisch zijaanzicht van een kromme brug met de minimale en maximale brughoogte aangegeven en de formule om de gemiddelde brughoogte te berekenen.

2.4 Beantwoording van de negen onderzoeksvragen

Onderzoeksvraag 1: Wat is de betrouwbaarheid, validiteit en representativiteit van het bestaande meetprotocol van de WUR waarmee drijvend afval gemeten wordt?

Met het WUR Meetprotocol wordt het aantal en type voorbijrijvende zwerfafvalitems binnen een bepaalde meetduur op een bepaalde locatie in een rivier gemeten. Op basis van die metingen kan een inschatting worden gemaakt van de drijvende zwerfafvalstroom (eenheid: aantal items per tijdseenheid) in rivieren. Hierdoor wordt het WUR Meetprotocol als geschikt en valide beschouwd om het aantal en type drijvend zwerfafval in rivieren in beeld te brengen (*onderzoeksvraag 1a*). Het WUR Meetprotocol is echter niet geschikt voor het bepalen van de afmetingen van drijvende zwerfafvalitems in rivieren. Beleids- en beheersvragen ten aanzien van trends in de zwerfafvalstroom in tijd en ruimte en de materiaalsamenstelling kunnen beantwoord worden op basis van het WUR Meetprotocol. Daarnaast kan door het combineren van de data met data van omgevingsfactoren zoals hydromorfologische parameters, rivierafvoeren, waterhoogtes, en getijden cycli, relaties tussen deze factoren en de zwerfafvalstroom onderzocht worden.

Het WUR Meetprotocol leidt tot een zwerfafvalstroom uitgedrukt in een aantal items per tijdseenheid. Het streven bestaat om de zwerfafvalstroom uit te drukken in een massa per tijdseenheid. Voor deze omzetting kunnen niet de gemeten massa's van zwerfafvalitems verzameld op rivieroeveren gebruikt worden. Het 'Rivier vs. Oever'-experiment heeft aangetoond dat deze massa's niet representatief zijn voor de drijvende zwerfafvalitems (*onderzoeksvraag 1b*).

Binnen het WUR Meetprotocol zijn ontwerpkeuzes gemaakt. Idealiter leiden deze ontwerpkeuzes tot representatieve metingen. Het tijdsresolutie-experiment heeft vastgesteld dat een meetduur van 5 minuten en een herhaling van vier maal een representatieve

meting van de drijvende zwerfafvalstroom op die locatie op dat moment oplevert (*onderzoeksvraag 1c*). Wat betreft het vaststellen van het optimale aantal meetlocaties, de optimale meetfrequentie of het optimale meetmoment, zijn geen kwaliteitsexperimenten uitgevoerd. Deze ontwerpkeuzes hangen nauw samen met de onderzoeks-, beleids- of beheervraag die beantwoord dient te worden. Voor het bepalen van de instroom van zwerfafval vanuit een bepaalde stad, dienen de meetlocaties zo gekozen te worden dat er boven- en benedenstreams van die stad gemeten wordt. Hoe hoger de gewenste ruimtelijke resolutie, hoe dichter de meetlocaties over een rivier gekozen dienen te worden. Om inzicht te krijgen in of de zwerfafvalstroom seizoensgebonden is, dient de meetfrequentie zo te zijn ingesteld dat er minstens in elk seizoen een keer gemeten wordt. In getijdengebied, waar de stromingsrichting wisselt, is het meetmoment afhankelijk van of de zeewaartse of landinwaartse zwerfafvalstroom bepaald dient worden. De ontwerpkeuzes ten aanzien van de meetlocaties en -frequentie kunnen aangepast worden zodat het WUR Meetprotocol ingezet kan worden voor het meten van de drijvende zwerfafvalstroom op de beoogde ruimtelijke en temporele resolutie.

Er is geen kwaliteitsexperiment uitgevoerd om vast stellen in hoeverre het WUR Meetprotocol geschikt is om betrouwbare metingen uit te voeren (*onderzoeksvraag 1d*). Om de betrouwbaarheid van een meetmethode te bepalen moet namelijk een aantal metingen onder identieke omstandigheden uitgevoerd worden. Wanneer de gemeten waarden gelijk aan elkaar zijn, kan geconcludeerd worden dat de meetmethode betrouwbaar is. Het WUR Meetprotocol is een veldmethode. In het veld veranderen de omstandigheden constant waardoor, in theorie, het testen van de betrouwbaarheid van het WUR Meetprotocol onmogelijk is. Desondanks kan met voorzichtigheid gesteld worden dat het WUR Meetprotocol een sterke mate van betrouwbaarheid heeft aangezien de zwerfafvalstromen die tijdens de Pilot Meting in 2021 (uitgevoerd met hetzelfde WUR Meetprotocol) gemeten zijn, vergelijkbaar zijn met de zwerfafvalstromen die tijdens de jaarmeting van dit project zijn gemeten (voor dezelfde meetlocaties en maanden).

Onderzoeksvraag 2: Hoe ziet een doorontwikkeld (op basis van de uitkomsten van vraag 1) monitoringsprogramma voor drijvend zwerfafval eruit dat de boven genoemde beleids- en beheersvragen (A tot en met G) kan beantwoorden, gericht op inzicht in trends in tijd? En hoe verhoudt de data die we daarmee vergaren zich tot de data uit het voorgaande protocol?

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden verwijzen wij naar het Meetmethodiek document (Arcadis & WUR, 2023). De Meetmethodiek is een doorontwikkelde methodiek voor het meten van drijvend zwerfafval in rivieren dat verschillende beleids- en beheersvragen vanuit de overheid kan beantwoorden. Doordat de nieuwe Meetmethodiek in de basis niet anders is dan de methodiek van het WUR Meetprotocol, kan de velddata verkregen tijdens beide methodieken met elkaar vergeleken worden. Het voornaamste verschil tussen de protocollen zit in de extrapolatieberekening waarbij de waarnemingen uitgedrukt in items per 5 minuten, worden omgezet naar items per uur (voor details zie hoofdstuk 2.3). Door deze herziende extrapolatieberekening toe te passen op de velddata verkregen met het WUR Meetprotocol, kunnen de zwerfafvalstromen van beide protocollen één-op-één met elkaar vergeleken worden. Daarnaast kunnen ook de massatransporten van de 2022-2023 metingen vergeleken worden met die van 2021, mits dezelfde waarden voor de massa's van de item categorieën gebruikt worden.

Onderzoeksvraag 3: Op welke locaties van de Rijkswateren en op hoe veel locaties moet gemeten worden om een representatief beeld voor Nederland te schetsen?

In de Meetmethodiek zijn tien monitoringslocaties opgenomen, twee over de IJssel, vijf over de Rijn en haar vertakkingen, en drie over de Maas. Hiermee wordt boven-, midden en benedenstreams in de drie belangrijkste rivieren en -takken in Nederland gemeten. Binnen dit project is geen experiment geprioriteerd om vast te stellen of dit aantal en de ruimtelijke verspreiding ervan afdoende is om een representatief beeld voor heel Nederland te schetsen.

Onderzoeksvraag 4: Hoe moet er bepaald worden wat het type, massa en volume is van het drijvende afval? Zijn steekproeven op de oevers daar geschikt voor? Wat is de frequentie van deze steekproeven? Kan er met steekproeven op strategisch gekozen tijden en plekken tot een representatieve database gekomen worden? Moeten het afval van de steekproef opgeruimd worden of is het beter voor de monitoring om dit te laten liggen?

Naar aanleiding van de bevindingen van het 'Rivier vs. Oever'-experiment kan (een deel van) deze onderzoeksvraag beantwoord worden. In de Meetmethodiek (en ook in het WUR Meetprotocol) wordt het type materiaal van de drijvende zwerfafvalitems in rivieren gedocumenteerd. De grootte (het volume) en de massa daarentegen niet, omdat de items niet uit de rivier verwijderd worden. Om de grootte en de massa te bepalen zijn steekproeven op de oevers niet geschikt. Het rivier vs. oever experiment heeft namelijk aangetoond dat de materiaalsamenstelling van de items op de oever veelal niet overeenkomt met die van de items die in de rivier drijven. Daarnaast bleek voor de meeste materiaal categorieën dat de gemiddelde massa van oeveritems (van die categorie) hoger is dan die van drijvende rivieritems (van dezelfde categorie). Steekproeven op oevers zijn dus niet geschikt voor het bepalen van het type, volume of massa van het drijvende afval in de rivier. Het advies is om hiervoor het type, volume of massa te gebruiken van items die daadwerkelijk uit de rivier weggevangen zijn.

Onderzoeksvraag 5: Waarmee moet rekening gehouden worden bij het uitvoeren van het veldonderzoek?

In de Meetmethodiek zijn verschillende hoofdstukken opgenomen die ingaan op de uitvoerbaarheid van de metingen (voor details zie document Meetmethodiek). Een greep uit de aspecten waar rekening mee gehouden moet worden bij het uitvoeren van het

veldonderzoek is de veiligheid van de veldwerkers, de getijdencyclus voor de monitoringslocaties in getijdengebied, de lengte van de dag (metingen moeten bij daglicht uitgevoerd worden en niet bij ochtend- of avondschemering), de planning (bij voorkeur worden alle monitoringslocaties op dezelfde dag gemeten) en het op de hoogte stellen van de brugwachters (verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat). Naast oranje veiligheidshesjes hoeven er voor het uitvoeren van de veldmetingen geen andere persoonlijke beschermingsmiddelen ingezet te worden, tenzij daar aanleiding voor is door bijvoorbeeld bouwwerkzaamheden.

Onderzoeksvraag 6: Wie zal de monitoring vanaf juni 2023 moeten uitvoeren in het kader van Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL)?

Voorop staat dat ervaring met visuele observaties van drijvend zwerfafval of met de categorisatie van zwerfafval items een voordeel is, zeker voor de veldwerkleider. Een veldwerker hoeft verder niet gekwalificeerd te zijn. In principe kan iedereen na het doorlezen van de meetmethode zoals beschreven in het Meetmethodiek document de metingen uitvoeren. De voor- en nadelen van de inzet van professionals, vrijwilligers, of eigen RWS medewerkers liggen verder op organisatorisch vlak. Een professionele aanpak van veiligheid, planning en datalevering is in alle gevallen noodzakelijk.

Onderzoeksvraag 7: Hoe ziet het kwaliteitsborgingproces eruit voor de gegenereerde data? Hoe voert opdrachtnemer de kwaliteitscontrole op de data uit?

Kwaliteitscontrole wordt op verschillende manieren gedaan tijdens en na het veldwerk. Het is belangrijk dat iedere veldwerker dezelfde uitleg krijgt over de verschillende categorieën van zwerfafval items die gemeten worden. Daarnaast wordt iedere veldwerker voor de eerste meting gewezen op veel gemaakte 'fouten', zoals bubbels, takjes en andere natuurlijke materialen die niet geteld moeten worden. Verder wordt elke brug door meerdere waarnemers gemeten, wat de 'observer bias' verkleint. Tijdens het veldwerk wordt ook gepraat over de metingen en de veldwerkleider checkt bij de veldwerkers hoe het gaat. Zo kunnen eventuele fouten op tijd opgemerkt en gecorrigeerd worden. Na de metingen wordt de data zo snel mogelijk gedigitaliseerd, zodat bij eventuele onduidelijkheden, de veldwerkers nog weten wat ze hebben genoteerd. In de kwartaalmemo's wordt de data uitgebreider geanalyseerd en vergeleken met andere metingen. Bij grote afwijkingen van wat 'normaal' is, wordt naar een mogelijke verklaring gezocht. Als er twijfel is over de betrouwbaarheid van een meting, wordt dat gerapporteerd en kan besloten worden om deze meting niet mee te nemen.

Onderzoeksvraag 8: Hoe ziet de data-overdracht aan RWS eruit, zodat deze goed door RWS beheerd kan worden in een centrale database?

De data-overdracht gaat door middel van de aanlevering van een Microsoft Excel bestand met daarin de velddata en de berekende totale zwerfafvalstromen (voor details verwijzen we naar het document Meetmethodiek).

Onderzoeksvraag 9: Reflectie beleid- en beheersvragen in relatie tot op te leveren producten en verworven inzichten en aanbevelingen in dit project (welke vragen kunnen wel en niet beantwoord worden en waarom).

In Tabel 2 lichten we toe welke beleids- en beheersvragen wel/niet met de Meetmethodiek beantwoord kunnen worden, en waarom wel/niet.

Tabel 2. In het kader van onderzoeksvraag 9 (Box A) is voor elke beleid-/beheersvraag voorgelegd door Rijkswaterstaat toegelicht of de Meetmethodiek geschikt is voor de beantwoording ervan.

Beleid- / beheersvraag vanuit Rijkswaterstaat	Kan beantwoord worden met de Meetmethodiek?
<p>A. Zijn er trends in tijd van het drijvende zwerfafval in Nederlandse Rijkswateren? Zo ja: Wat kenmerkt de trends in tijd en seizoenen? Vanuit beleid is er behoefte in inzicht in trends in tijd (korte en lange termijn, seizoenen, opeenvolgende jaren) van:</p> <p>a. Hoeveelheden van zwerfafval in verschillende meeteenheden (stuks, massa, volume of afmeting)</p> <p>b. Samenstelling van het zwerfafval onderverdeeld in verschillende clusters zoals:</p> <p>i. materiaal (kunststof, hout, metaal, etc.) en type kunststof (PE, PP, PET, EPS etc.);</p> <p>i. vorm (bijv. beker, fles, wikkel, folie/tas etc.);</p> <p>ii. gebruiksdomein (drinken, eten, hygiëne, verpakkingen, etc.).</p>	<p>Ja Trends in ruimte en tijd van de zwerfafval-stroom kunnen op basis van metingen met de Meetmethodiek vastgesteld worden.</p> <p>Ja De metingen binnen de Meetmethodiek zijn uitgedrukt in items per tijdseenheid. Dit kan omgerekend worden naar massa, volume, of afmeting verdeling door de metingen te combineren met andere datasets.</p> <p>Deels Het verschillende polymeercategorieën worden gedocumenteerd, maar niet alle materiaaltype.</p> <p>Nee De vorm wordt niet gedocumenteerd.</p> <p>Nee Het gebruiksdomein wordt niet gedocumenteerd, maar zou deels afgeleid kunnen worden van de materiaaltypen.</p>
<p>B. Welke trends, betreffende de invoering van de Europese SUP-richtlijn, kunnen worden vastgesteld in Nederlandse Rijkswateren?</p>	<p>Ja Een eventuele afname van SUP items zou vastgesteld kunnen worden op basis van de metingen met de Meetmethodiek.</p>
<p>C. Hoe schoon zijn de wateroppervlaktes van Nederlandse Rijkswateren als geheel en welke nuances moeten bij de beoordeling toegevoegd worden?</p>	<p>Nee De Meetmethodiek geeft geen maatstaf voor hoe schoon het wateroppervlak is.</p>
<p>D. Welke omgevingsfactoren hebben invloed op de schoonheid van de Rijkswateren? Zoals bijvoorbeeld hydromorfologische parameters, hoogwater en laagwater, getijden, vaarwegen, wind, bestemmingsplan etc.</p>	<p>Ja Door de metingen van de Meetmethodiek te combineren met data van verschillende omgevingsfactoren, kan bepaald worden welke factoren wel/geen invloed hebben op de zwerfafvalstroom in rivieren.</p>
<p>E. Welke bijdrage leveren drijvende macroplastics en zwerfafval in rivieren aan de hoeveelheid macroplastics en zwerfafval in de Noordzee?</p>	<p>Deels Er is data verzameld voor de afvoer naar de Noordzee vanuit de verschillende bruggen, maar het gebrek aan goede data in het getijdengebied maakt het lastig om het netto transport te bepalen.</p>
<p>F. Zijn er specifieke seizoenen, of weers- of wateromstandigheden wanneer zich drijvend zwerfafval aanhoopt op oevers of juist weer afgevoerd wordt vanaf de oevers?</p>	<p>Nee Het is niet mogelijk om met de Meetmethodiek vast te stellen of de voorbijdrijvende items van oevers afkomstig zijn.</p>
<p>G. Wat zijn logische momenten en geschikte locaties voor het afvangen of voorkomen van zwerfafval in rivieren op basis van significante invloedfactoren, zoals bijvoorbeeld seizoen, weersomstandigheden en hydromorfologie?</p>	<p>Ja De metingen met de Meetmethodiek kunnen eventuele relaties tussen weersomstandigheden en hydrologie blootleggen. Op basis hiervan zouden keuzes gemaakt kunnen worden voor de plaatsing van afvangsystemen.</p>

3 Methode jaarmeting 2022-2023

In het kader van dit project is een jaarmeting uitgevoerd om de drijvende zwerfafvalstroom in de Nederlandse delen van de rivieren de Rijn, Maas en IJssel in kaart te brengen. Gedurende het eerste halfjaar zijn de metingen uitgevoerd volgens het WUR Meetprotocol en gedurende het tweede halfjaar zijn de metingen uitgevoerd volgens de Meetmethodiek.

3.1 Monitoringslocaties

Voor het monitoren van de drijvende zwerfafvalstroom in de rivieren de Rijn, de Maas, en de IJssel is op tien bruggen gemeten (Figuur 3): de Andrej Sacharovbrug bij Arnhem (R1) over de Nederrijn (R1), de Snelbinderbrug bij Nijmegen over de Waal (R2), de Merwedebrug bij Gorinchem over de Boven Merwede (R3), de Erasmusbrug in Rotterdam over de Nieuwe Maas (R4), de Spijkenisserbrug bij Spijkenisse over de Oude Maas (R5), de Sint Servaasbrug in Maastricht over de Maas (M1), de Maasbrug bij Ravenstein over de Maas (M2), de Keizersveerbrug bij Keizersveer over de Maas (M3), de Westervoortse Brug bij Westervoort over de IJssel (IJ1), en de Stadsbrug in Kampen over de IJssel (IJ2).



● R1 Andrej Sacharovbrug (Arnhem)	● IJ1 Westervoortse Brug (Westervoort)	● M1 Sint Servaasbrug (Maastricht)
● R2 Snelbinder (Nijmegen)	● IJ2 Stadsbrug (Kampen)	● M2 Maasbrug (Ravenstein)
● R3 Merwedebrug (Gorinchem)		● M3 Keizersveerbrug (Keizersveer)
● R4 Erasmusbrug (Rotterdam)		
● R5 Spijkenisserbrug (Spijkenisse)		

Figuur 3. Kaart met de gemiddelde jaarlijkse waterafvoer van de Rijn, Maas en IJssel. De rode symbolen geven de meetlocaties (bruggen) aan van de landelijke monitoring van drijvend zwerfafval in rivieren. (Bron: kaart van Maximilian Dörrbecker¹ aangepast).

¹ [https://nl.wikipedia.org/wiki/Rijndelta#/media/Bestand:Map_of_the_annual_average_discharge_of_Rhine_and_Maas_2000-2011_\(NL\).png](https://nl.wikipedia.org/wiki/Rijndelta#/media/Bestand:Map_of_the_annual_average_discharge_of_Rhine_and_Maas_2000-2011_(NL).png)

Alle bruggen zijn opgedeeld in brugsegmenten. De locaties en ID-nummers van de brugsegmenten staan in een Google Maps kaart². Deze zijn ook terug te vinden in de Meetmethodiek (Arcadis & WUR, 2023). Tabel 3 geeft voor alle tien monitoringslocaties de rivierbreedte, het aantal brugsegmenten, de gemiddelde brughoogte, en de breedte van het observatiegebied.

Tabel 3. Voor de tien monitoringslocaties staan in deze tabel aangegeven: de rivierbreedte (meter) direct onder de brug, het aantal brugsegmenten, de gemiddelde brughoogte (meter), en de observatiebreedte (meter) van de brugsegmenten.

Brugnaam (plaatsnaam)	Rivierbreedte (m)	Aantal brugsegmenten	Gemiddelde brughoogte (m)	Breedte observatiegebied (m)
Andrej Sacharovbrug (Arnhem)	120	4	21	29
Snelbinder (Nijmegen)	330	5	19	26
Merwedebrug (Gorinchem)	500	6	15	21
Erasmusbrug (Rotterdam)	480	6	13	18
Spijkenisserbrug (Spijkenisse)	295	4	14	20
Westervoortse Brug (Westervoort)	75	3	14	20
Stadbrug (Kampen)	205	6	5	8
Sint Servaasbrug (Maastricht)	165	6	8	11
Maasbrug (Ravenstein)	135	5	14	19
Keizersveerbrug (Keizersveer)	265	5	11	16

3.2 Monitoringsperiode en -frequentie

In de periode maart 2022 t/m februari 2023 zijn er elke maand metingen uitgevoerd op de tien monitoringslocaties. Naast de twaalf maandelijkse meetrondes zijn twee ad hoc metingen uitgevoerd. De eerste ad hoc meting vond plaats op 8 augustus 2022 tijdens een periode van lage waterstanden in de Rijn en IJssel. Voor deze laagwater meetronde zijn metingen uitgevoerd (volgens standaard protocol) op de Snelbinder, Merwedebrug, Erasmusbrug, Spijkenisserbrug, Westervoortse Brug en Stadsbrug. De tweede ad hoc meetronde vond plaats op 17, 18 en 19 januari tijdens een periode van (licht) verhoogde waterstanden in de Rijn. Tijdens deze meetronde is alleen de drijvende zwerfafvalstroom bij de Snelbinderbrug in Nijmegen over de Waal gemeten. Door de verhoogde waterstand is een extra brugsegment toegevoegd aan de noordkant (coördinaten 51.853673, 5.857605).

3.3 Dataopslag

De velddata van de jaarmeting is opgeslagen (en per kwartaal aangeleverd aan RWS) in een Microsoft Excel bestand. Dit Excel bestand bestaat uit vijf tabbladen genaamd: 'wie', 'wat', 'waar', 'legenda', en 'data'. Het 'wie' tabblad bevat informatie over de partij(en) die het veldwerk hebben uitgevoerd. Het 'wat' tabblad bevat informatie betreffende de meetmethodiek, zoals de type observatie (visueel waarnemen), de type meetlocatie (brug), de meetduur (5 minuten) en het aantal herhalingen (4 maal). Het 'waar' tabblad bevat informatie over de locaties en specificaties van de meetlocaties. Het tabblad 'legenda' legt de inhoud van elke kolom in het 'data' tabblad. Daarnaast worden ook de materiaalcategorieën toegelicht. Het 'data' tabblad bevat de ruwe velddata (direct overgenomen van de veldwerkformulieren) en een aantal kolommen met reeds ingevulde formules die uiteindelijk leiden tot de totale zwerfafvalstroom voor de hele rivierbreedte.

3.4 Correlatie met hydrologie

Om te onderzoeken of er een correlatie bestaat tussen de drijvend zwerfafvalstroom en het debiet zijn correlatietests uitgevoerd. Voor elke brug is het debiet gebruikt dat gemeten is bij een nabijgelegen meetstation (zie Tabel 4 voor een overzicht). Doordat er geen meetstations in het getijdengebied zijn, was het niet mogelijk om deze analyse uit te voeren voor de Erasmusbrug en de Spijkenisserbrug. Voor de correlatie tests was voor iedere meetronde op een brug, de drijvend zwerfafvalstroom vergeleken met het gemiddelde debiet in de periode tussen de eerste en laatste meting van die meetronde op die brug. Debietwaarden waren van waterinfo.nl gedownload. Zowel de Pearson, voor het testen op een lineair verband, als de Spearman, voor het testen op een monotoon verband, correlatietests zijn uitgevoerd.

² https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1hAFVsGZjits6TiV_UiQxIKdpcO-4N9_3&usp=sharing

3.5 Massa van drijvende zwerfafvalitems

Op basis van het 'rivier vs. oever-experiment' (sectie 2.2.4 van dit rapport) is gebleken dat zwerfafvalitems op oevers over het algemeen geen representatieve massa hebben en dus niet gebruikt kunnen worden om de massa in te schatten van drijvende zwerfafvalitems in de rivier. Naar aanleiding hiervan heeft Rijkswaterstaat een project opgezet waarin de massa van ruim 3000 drijvende zwerfafvalitems is gemeten. De items waren ingevangen door het Catchy systeem (Catchy 1 in de Vijfsluizerhaven in Schiedam en Catchy 2 in de Nieuwe Maas onder de Erasmusbrug) en de Shoreliner (Lekhaven in Rotterdam (Vriend et al., 2020)). Op basis van deze massa dataset is voor elke materiaalcategorie waar op de brug onderscheid tussen gemaakt wordt (Tabel 1), de gemiddelde massa bepaald. Voor sanitaire items is de gemiddelde massa van sanitaire items gevonden op rivieroeveren gebruikt (van Emmerik & de Lange, 2021) aangezien zowel Catchy2 als de Shoreliner geen sanitaire items ingevangen hadden. Voor de categorie 'overig plastic' is de gemiddelde massa van alle andere plastic categorieën gebruikt. Voor de categorie 'overig niet-plastic' is de gemiddelde massa van alle andere niet-plastic categorieën gebruikt. Tabel 5 bevat de gemiddelde massa's per materiaalcategorie. Op basis van Tabel 5 is voor elke meting het aantal waargenomen items van categorie x vermenigvuldigd met de gemiddelde massa van categorie x . Deze massa's zijn op dezelfde manier als met item aantallen met behulp van vergelijking (1) en (2) geëxtrapoleerd. Dit leverde per locatie per meting een totale massatransport.

Tabel 4. Meetstations waarvan de debiet metingen gebruikt zijn voor de correlatietests tussen de drijvend zwerfafvalstroom en het debiet. Bij de Erasmusbrug en Spijkenisserbrug lag geen meetstation in de buurt.

Brugnaam (plaatsnaam)	Meetstation (voor debiet)
Andrej Sacharovbrug (Arnhem)	Arnhem
Snelbinder (Nijmegen)	Millingen aan de Rijn
Merwedeburg (Gorinchem)	Millingen aan de Rijn
Erasmusbrug (Rotterdam)	-
Spijkenisserbrug (Spijkenisse)	-
Westervoortse Brug (Westervoort)	Westervoort
Stadbrug (Kampen)	Olst
Sint Servaasbrug (Maastricht)	Sint Pieter Noord
Maasbrug (Ravenstein)	Megen
Keizersveerbrug (Keizersveer)	Megen

Tabel 5. Gemiddelde massa's van items die vallen onder de 16 materiaalcategorieën waarin waargenomen drijvende zwerfafvalitems ingedeeld worden. Deze waarden zijn gebaseerd op massa metingen van zwerfafvalitems die door Catchy2 en de Shoreliner (Vriend et al., 2020) zijn ingevangen.

Categorie	Gemiddelde massa (gram)
PET	28,17
PO Zacht	1,88
PO Hard	10,41
PS	3,19
ML	0,72
PS-E	2,30
Overig plastic	7,78
Rubber	2,67
Textiel	166,71
Papier	39,88
Hout	81,02
Metaal	12,54
Glas	346,73
Sanitair	8,40
Medisch	4,56
Overig niet-plastic	82,44

4 Resultaten jaarmeting 2022-2023

Dit hoofdstuk presenteert en analyseert de resultaten van de jaarmeting die is uitgevoerd in de periode maart 2022 tot en met februari 2023. De waarnemingen op de tien monitoringslocaties (zie Figuur 3) zijn met behulp van vergelijking (2) (zie sectie 2.1) omgezet naar zwerfafvalstromen voor de gehele rivierbreedte en uitgedrukt in aantal items per uur.

4.1 Drijvend zwerfafvalstromen in rivieren

Maas

Er zijn op drie bruggen over de Maas gemeten, van boven- naar benedenstrooms zijn dat de Sint Servaasbrug, de Maasbrug en de Keizersveerbrug. Bij de Maasbrug en Keizersveerbrug was de drijvend zwerfafvalstroom relatief constant gedurende het jaar en schommelde tussen de 0 en 120 items/uur (Figuur 4A). De gemiddelde drijvend zwerfafvalstromen bij de Maasbrug en Keizersveerbrug waren respectievelijk 30 en 58 items/uur. Bij de Sint Servaasbrug lag het gemiddelde hoger, namelijk 252 items/uur. Bovendien was er een piek zwerfafvalstroom van 721 items/uur in de zomer (juni 2022) en een iets lagere piek van 447 items/uur in de winter (december 2022) (Figuur 4A).

IJssel

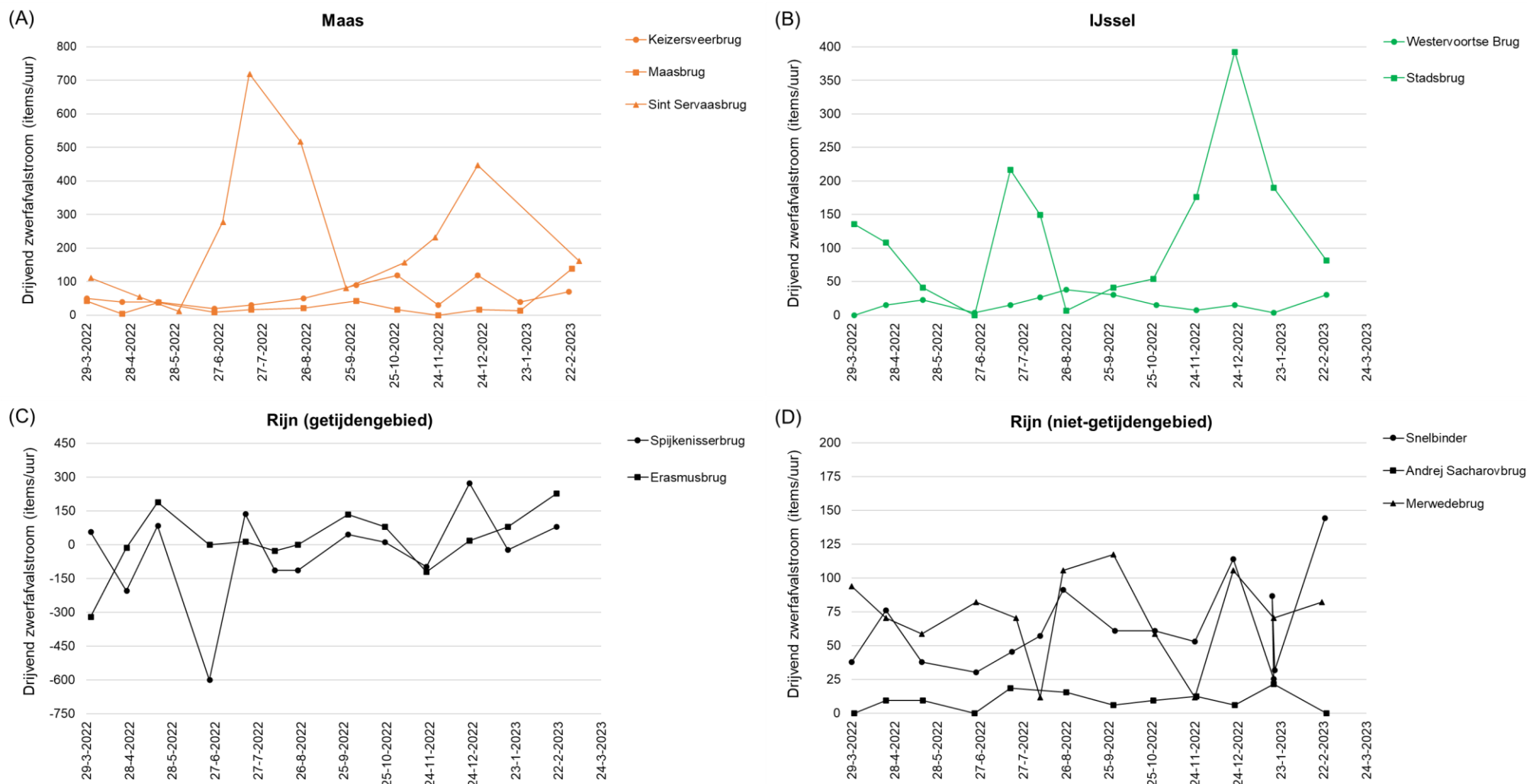
Er zijn op twee bruggen over de IJssel gemeten, bovenstrooms op de Westervoortse Brug en benedenstrooms op de Stadsbrug. Bij de Westervoortse Brug was de drijvend zwerfafvalstroom relatief constant gedurende het jaar en schommelde tussen de 0 en 40 items/uur (Figuur 4B) met een gemiddelde van 17 items/uur. De gemiddelde drijvend zwerfafvalstroom bij de Stadsbrug lag ruim zeven maal hoger: 123 items/uur. De drijvend zwerfafvalstroom bij de Stadsbrug werd gekenmerkt door een hoge piek in de winter (december 2022) van 393 items/uur en een lagere piek in de zomer (juli 2022) van 217 items/uur (Figuur 4B).

Rijn

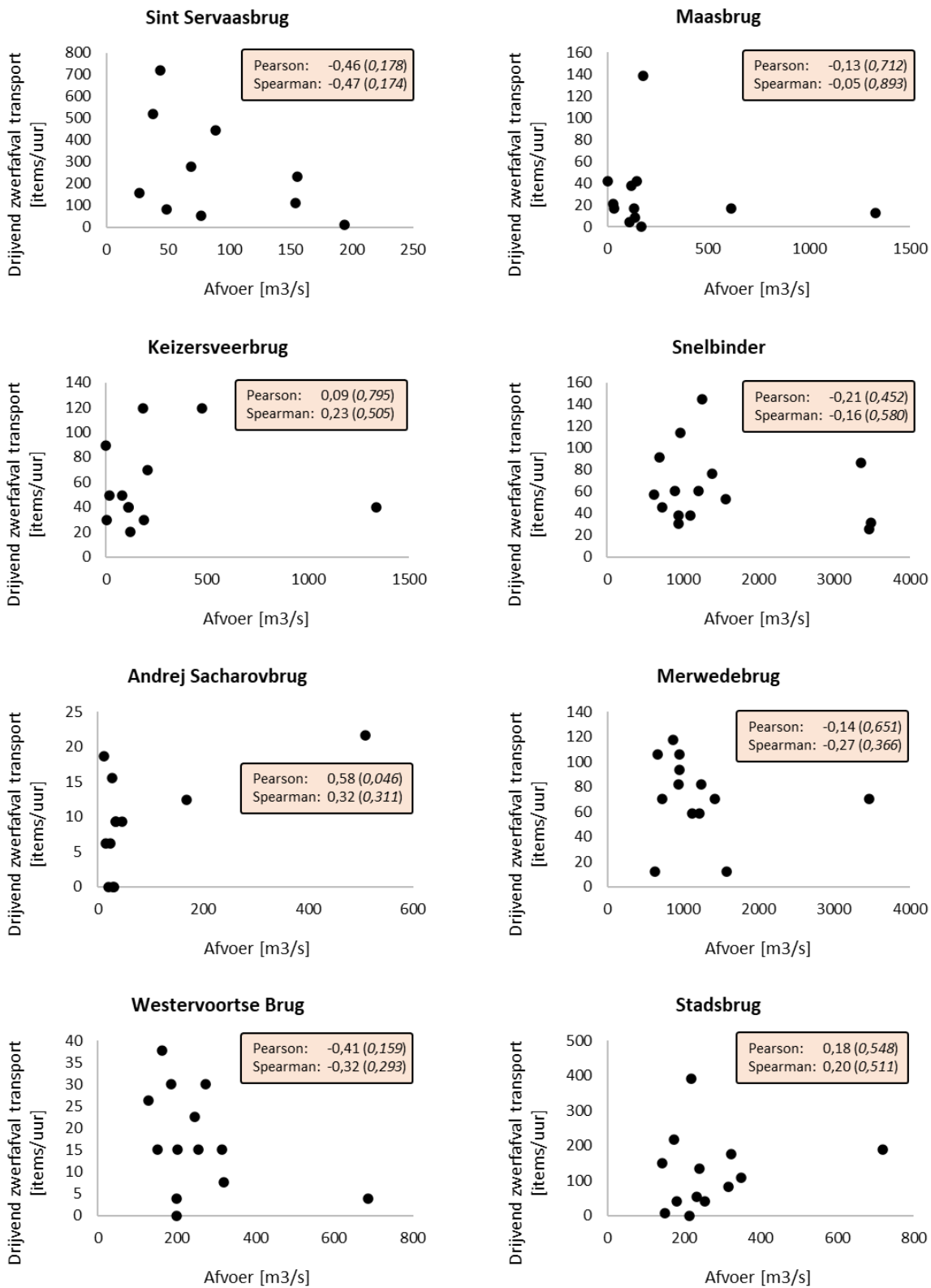
Er zijn op vijf bruggen over vertakkingen van de Rijn gemeten, van boven- naar benedenstrooms zijn dat de Snelbinder (over de Waal), de Andrej Sacharovbrug (over de Nederrijn), de Merwedebrug (over de Boven-Merwede), de Erasmusbrug (over de Nieuwe Maas) en de Spijkenisserbrug (over de Oude Maas). Hiervan liggen de Erasmusbrug en de Spijkenisserbrug in getijdengebied met als gevolg een aantal negatieve waarden voor de drijvend zwerfafvalstroom in verband met landwaartse stroming (Figuur 4C). De gemiddelden van de uitgaande drijvend zwerfafvalstromen bij de Erasmusbrug en Spijkenisserbrug waren respectievelijk 82 en 98 items/uur. Voor de ingaande stroming waren de gemiddelden -120 (Erasmusbrug) en -192 (Spijkenisserbrug) items/uur. Van de bruggen buiten het getijdengebied was de gemiddelde drijvend zwerfafvalstroom het hoogste voor de Merwedebrug (72 items/uur), gevolgd door de Snelbinder (64 items/uur) en de Andrej Sacharovbrug (9 items/uur) (Figuur 4D). In tegenstelling tot de Andrej Sacharovbrug, schommelde de drijvend zwerfafvalstroom bij de Snelbinder en Merwedebrug sterk gedurende het jaar. De drijvend zwerfafvalstroom had lichte pieken in de zomer (augustus 2022) en de winter (december 2022), maar deze waren slechts een factor 1,4 en 1,8 hoger dan het jaargemiddelde voor de Snelbinder. Bij de Merwedebrug lag de hoogste piek in september 2022 (Figuur 4D), maar ook deze piek was slechts 1,6 maal hoger dan het jaargemiddelde voor deze brug.

4.2 Drijvend zwerfafvalstroom en hydrologie

Voor alle bruggen (behalve de Erasmusbrug en de Spijkenisserbrug) zijn in Figuur 5 de gemeten drijvend zwerfafvalstromen uitgezet tegen de gemiddelde debieten tijdens de corresponderende meetperioden. Voor elke brug is een Pearson en Spearman correlatietest uitgevoerd. Pearson correlatie coëfficiënten van +1, -1 en 0 duiden respectievelijk op een perfect positieve, perfect negatieve, en geen lineaire correlatie. Spearman correlatie coëfficiënten van +1, -1 en 0 duiden respectievelijk op een perfect positieve, negatieve, en geen monotone correlatie. Figuur 5 bevat voor elke brug de Pearson en Spearman correlatie coëfficiënten met tussen haakjes de bijbehorende p waarden. Voor de Sint Servaasbrug, de Maasbrug, de Snelbinder, de Merwedebrug, en de Westervoortse Brug waren zowel de Pearson als de Spearman correlatie coëfficiënten negatief. Deze correlaties waren echter niet statistisch significant aangezien alle bijbehorende p waarden boven de 0,05 lagen (de gebruikelijke grens voor statistische significantie). Voor de Keizersveerbrug, de Andrej Sacharovbrug en de Stadsbrug waren de Pearson en Spearman correlatie coëfficiënten positief, maar alleen voor de Andrej Sacharovbrug was de p waarde net onder de 0,05 en dus statistisch gezien significant (Figuur 5). Een significante positieve correlatie kon worden aangetoond op basis van een Spearman correlatie coëfficiënt van 0,25 en een p waarde van 0,012 wanneer de data van alle acht bruggen samengenomen werd. Deze correlatie was niet lineair aangezien de Pearson correlatie coëfficiënt op basis van de gehele dataset uit kwam om -0,07 met een p waarde van 0,468.



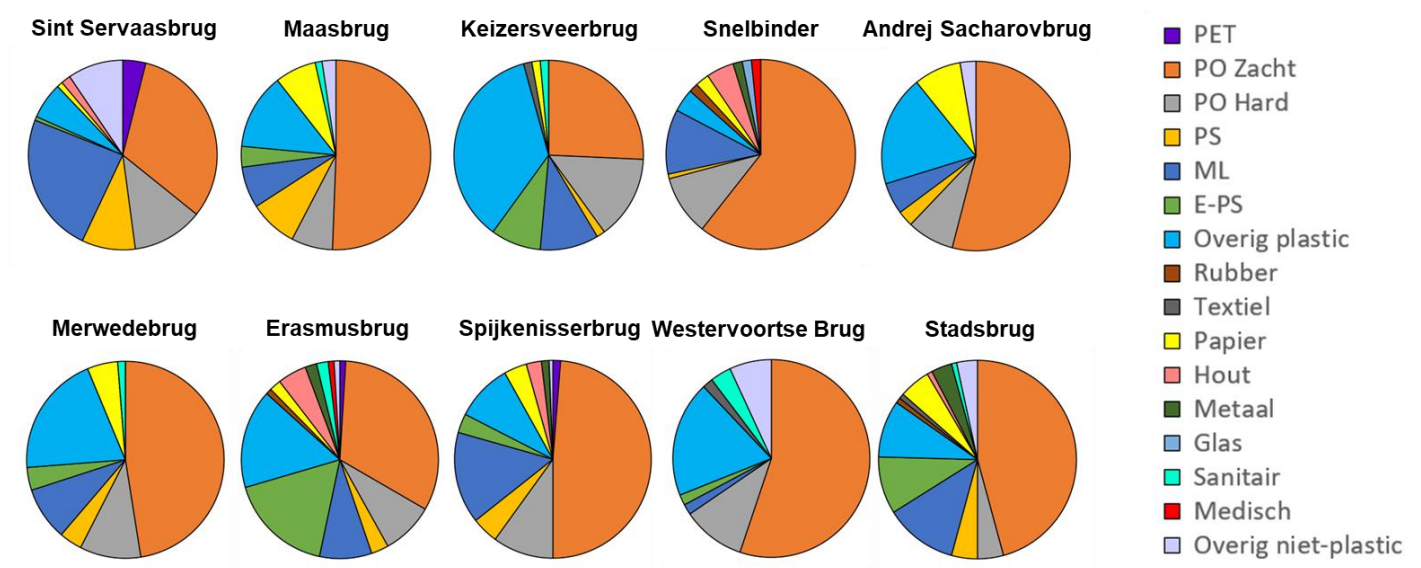
Figuur 4. Totale drijvend zwerfafvalstroom (items/uur) gemonitord vanaf bruggen over de Maas, IJssel en Rijn. (A) Zwerfafvalstromen voor de drie bruggen over de Maas. (B) Zwerfafvalstromen voor de twee bruggen over de IJssel. (C) Zwerfafvalstromen voor de twee bruggen over de Rijn die in getijdengebied vallen. (D) Zwerfafvalstromen voor de drie bruggen over de Rijn die niet in getijdengebied vallen.



Figuur 5. De drijvende zwerfafvalstromen (items/uur) uitgezet tegen de gemiddelde afvoer van de rivier (m3/s). Pearson en Spearman coëfficiënten met de bijbehorende p waarden tussen haakjes zijn aangegeven.

4.3 Type drijvende zwerfafvalitems

Op alle monitoringslocaties, behalve bij de Keizersveerbrug, was het meest voorkomende materiaal PO Zacht. Gevolgd door items van de categorieën 'overig plastic', PO hard en ML (voedselverpakkingen). De drijvend zwerfafvalstroom bestond bij alle monitoringslocaties voornamelijk uit plastic items (85 - 96%). Ondanks dat voor het merendeel van de bruggen de top drie meest voorkomende materiaalcategorieën hetzelfde waren, varieerden de verhoudingen. Op de Sint Servaasbrug was bijvoorbeeld 32% PO Zacht en 24% ML, terwijl op de Snelbinder het aandeel PO Zacht en ML lag op respectievelijk 61% en 11%. Op de Andrej Sacharovbrug zijn gedurende het hele jaar slechts zeven typen items waargenomen, terwijl bij bruggen als de Snelbinder, de Erasmusbrug en de Stadsbrug de zwerfafvalstroom uit meer diverse materialen bestaat. Items van de categorieën medisch, sanitair, glas en rubber kwamen nauwelijks voor in de drijvend zwerfafvalstroom.



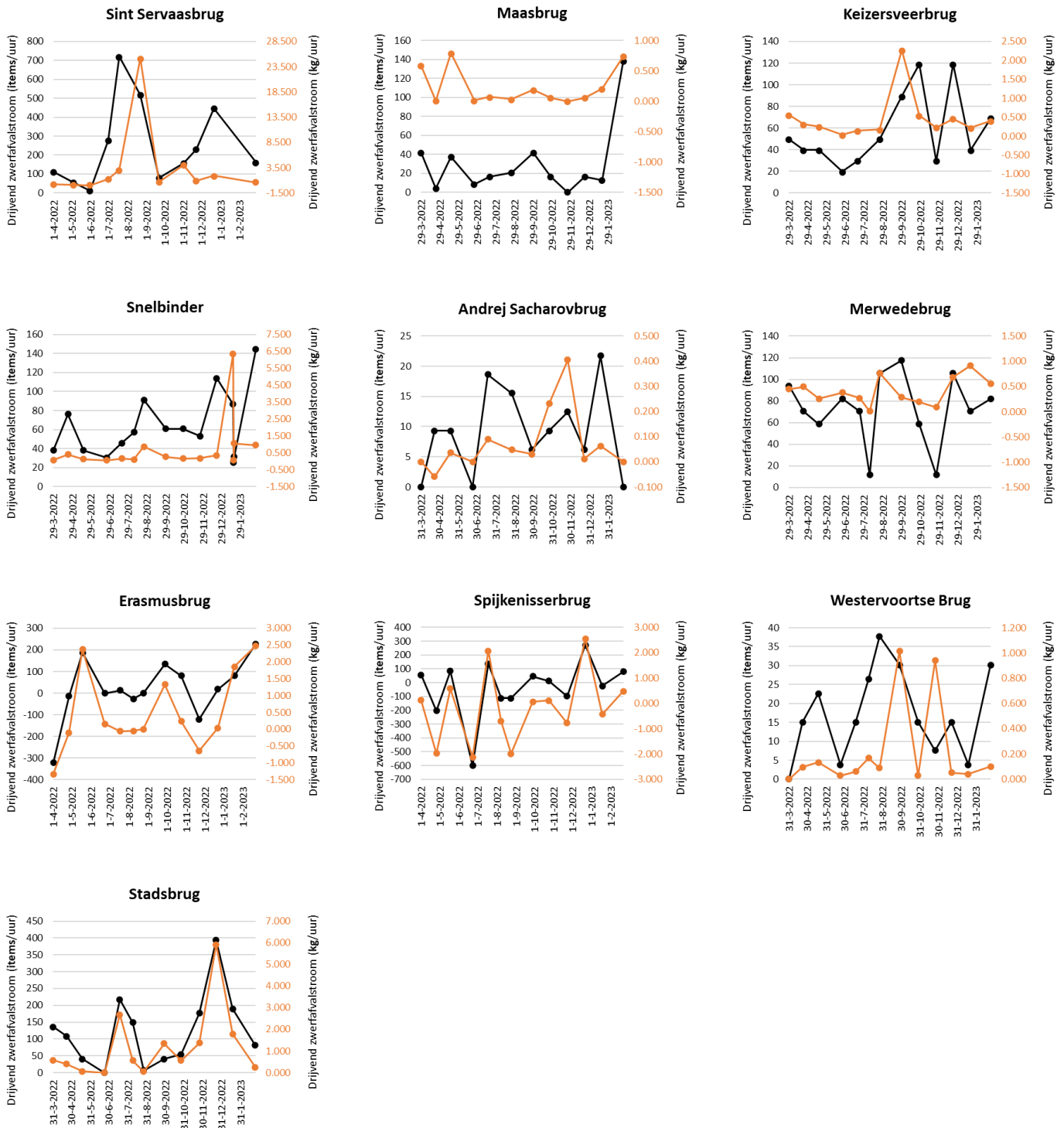
Brug (plaatsnaam)	PET	PO Zacht	PO Hard	PS	ML	E-PS	Overig plastic	Rubber	Textiel	Papier	Hout	Metaal	Glas	Sanitair	Medisch	Overig niet-plastic
Andrej Sacharovbrug (Arnhem)	0	20	3	1	2	0	7	0	0	3	0	0	0	0	0	1
Snelbinder (Nijmegen)	0	77	13	1	14	0	5	2	0	3	6	2	2	0	2	0
Merwedebrug (Gorinchem)	0	38	8	3	7	3	16	0	0	4	0	0	0	1	0	0
Erasmusbrug (Rotterdam)	1	34	9	3	9	18	17	1	0	2	5	2	0	2	1	1
Spijkenisserbrug (Spijkenisse)	2	78	16	7	24	5	15	0	0	6	4	2	0	0	0	1
Westervoortse Brug (Westervoort)	0	32	6	0	1	1	11	0	1	0	0	0	0	2	0	4
Stadsbrug (Kampen)	0	54	5	5	14	11	11	1	1	6	1	4	0	1	0	4
Sint Servaasbrug (Maastricht)	12	97	37	28	73	2	19	0	0	3	5	0	0	0	0	29
Maasbrug (Ravenstein)	0	43	6	7	6	3	11	0	0	6	0	0	0	1	0	2
Keizersveerbrug (Keizersveer)	0	18	10	1	7	6	25	0	1	1	0	0	0	1	0	0

Figuur 6. Materiaalsamenstelling van de drijvend zwerfafvalstroom op de tien monitoringslocaties. Getallen van de cirkeldiagrammen staan in de tabel. De tabel bevat het totaal aantal items per materiaal categorie dat tijdens de jaarmeting (maandelijks van maart 2022 t/m februari 2023; inclusief de twee ad hoc meetrondes) zijn waargenomen op de tien meetlocaties. De aantallen zijn absoluut (oftewel de stroomrichting is genegeerd) en niet geëxtrapoleerd in tijd of ruimte.

4.4 Drijvende zwerfafvalstroom uitgedrukt in massa per tijdseenheid

Aan de hand van Tabel 5 zijn de drijvend zwerfafvalstromen van alle meetrondes op alle bruggen uitgedrukt in kilogram per uur. Figuur 7 laat voor elke brug de drijvend zwerfafvalstroom in aantal items/uur en in kg/uur door de tijd zien. Pieken in aantal zwerfafvalitems vielen in veel gevallen niet samen met pieken in massa transport. Bij de Maasbrug, de Erasmusbrug, de Spijkenisserbrug, en de Stadsbrug kwam de trend van de zwerfafvalstromen in aantallen en in massa goed overeen. Voor de overige bruggen vielen veelal de pieken en dalen in aantal zwerfafvalitems per uur niet samen met pieken en dalen in de massa transport. De meeste massapieken waren het gevolg van waarnemingen van enkele items met relatief hoge massa's (bijvoorbeeld textiel of glas) of van waarnemingen waarin meer dan de helft van de items aan de categorieën 'overig plastic' en 'overig niet-plastic' waren toegeschreven.

Wanneer we per brug kijken naar alle items die tijdens de jaarmeting zijn waargenomen dan waren plastic items verantwoordelijk voor 20% (Snelbinderbrug) tot 66% (Merwedeburg) van de massa. Het aandeel van plastic items in de totale massa was gemiddeld 40% voor alle bruggen.



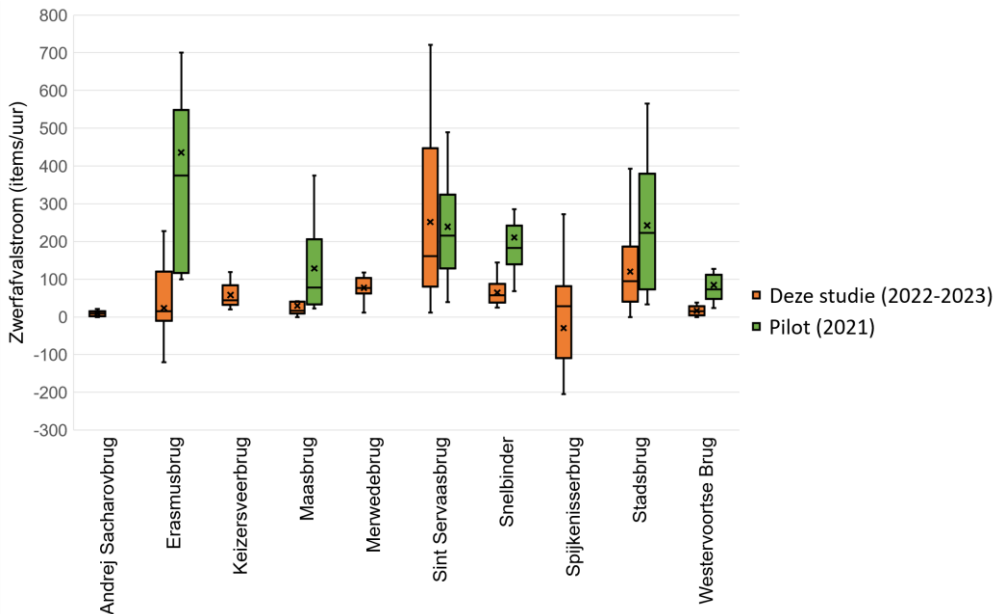
Figuur 7. Per brug de drijvend zwerfafvalstroom uitgedrukt in aantal items per uur (zwarte lijn) en kilogram per uur (oranje lijn) op basis van de metingen die zijn uitgevoerd in de periode maart 2022 tot en met februari 2023.

5 Discussie jaarmeting

De drijvend zwerfafvalstromen gemeten tijdens de jaarmeting in de Maas, Rijn en IJssel in de periode maart 2022 tot en met februari 2023 liggen gemiddeld rond de 60 items/uur (gemiddelde van alle meetrondes op alle bruggen). Ter vergelijking hebben we in Figuur 8 de zwerfafvalstromen gemeten in 2021 tijdens de Pilot meting naast de zwerfafvalstromen die in deze studie gemeten zijn, gelegd. Hierbij zijn in beide studies de metingen tijdens extreme waterafvoeren (waaronder de overstroming in juli 2021) niet meegenomen. De zwerfafvalstromen van de 2021 veldmetingen zijn berekend op basis van veelal bredere observatiegebieden die niet afhankelijk waren van de brughoogte en kijkhoek van 70° (Figuur 2). Bredere observatiegebieden zouden in theorie lagere zwerfafvalstromen moeten opleveren. Echter zien we dat voor het merendeel van de bruggen de zwerfafvalstromen gemeten in 2021 hoger zijn dan die in 2022-2023. Bovendien is de spreiding van de zwerfafvalstromen in 2021 hoger vergeleken met deze studie. Mogelijke verklaringen voor deze verschillen zijn observer bias, iets wat tot op heden nog niet goed gekwantificeerd is, of een daadwerkelijke afname van de hoeveelheden zwerfafval in rivieren door maatregelen (bijvoorbeeld Catchy2, een invangstelsel onder de Erasmusbrug). Op de Erasmusbrug is in 2021 minder vaak tijdens instromend tij gemeten dan in deze studie met als gevolg meer negatieve zwerfafvalstromen in de 2022-2023 dataset. Ter vergelijking met andere rivieren, in de Seine (Frankrijk) ligt de drijvend zwerfafvalstroom tijdens normale afvoeren tussen de 100 tot 160 items/uur (van Emmerik et al., 2019), en voor rivieren in Jakarta zijn liggen de aantallen per uur in de 1000 (van Emmerik et al., 2019b).

De jaarmeting laat zien dat de drijvend zwerfafvalstroom variabel is door zowel de tijd als ruimte. Op sommige locaties is de drijvend zwerfafvalstroom gedurende het hele jaar redelijk constant, maar op andere locaties fluctueert deze sterk en zijn soms een of meerdere pieken te onderscheiden. De Westervoortse Brug en de Merwedeburg zijn voorbeelden van locaties waar de zwerfafvalstromen relatief constant en laag waren (met respectievelijk minder dan 40 en 120 items). De Sint Servaasbrug en de Stadsbrug daarentegen hadden hogere zwerfafvalstromen en daarbij een piek in de zomer (met respectievelijk 721 en 217 items per uur). Correlatie tests toonden aan dat deze zwerfafvalpieken niet aan het debiet gerelateerd waren. We raden aan om deze test te herhalen als er voor langere tijd data is verzameld, omdat een grotere dataset de statistische significantie kan vergroten. Daarnaast zullen ook andere factoren de drijvende zwerfafvalstroom kunnen beïnvloeden, zoals het weer (neerslag en wind) en de nabijheid van steden. De relatie met deze factoren is binnen dit project niet onderzocht.

De verschillen in drijvend zwerfafval tussen bruggen zouden eventueel verklaard kunnen worden door hun afstand tot de bron, aangezien veel drijvend zwerfafval relatief snel weer vast komt te zitten op de oever of in planten bijvoorbeeld (van Emmerik et al., 2022). Dit zou de constante lage zwerfafvalstromen bij bruggen buiten stedelijk gebied kunnen verklaren, zoals voor de Westervoortse Brug en de Merwedeburg. De Sint Servaasbrug in Maastricht en de Stadsbrug in Kampen bevinden zich dicht bij de bron. In de zomermaanden nemen in steden de recreatie buitenactiviteiten en toeristenaantallen toe, dit zou eventueel de zomerpiek in de zwerfafvalstroom kunnen verklaren. De sterke fluctuaties van de zwerfafvalstroom in getijdengebied (de Erasmusbrug en de Spijkenisserbrug) zijn lastig te interpreteren aangezien de meetrondes niet altijd in dezelfde fase van het getij plaatsvonden. De dynamische stromingssnelheden en -richtingen in getijdengebied maken het meten en kwantificeren van de drijvend zwerfafvalstroom complex. Pilot projecten met GPS trackers laten zien dat items oscilleren in het getijdengebied en dat het nog onbekend is hoeveel van het drijvend zwerfafval daadwerkelijk naar zee stroomt (Tramoy et al., 2020).



Figuur 8. Zwerfafvalstromen berekend voor tien bruggen in Nederland op basis van twaalf (maandelijke) metingen uitgevoerd in 2022-2023 (deze studie) en 2021 (Pilot project, van Emmerik & de Lange, 2021). Er zijn in 2021 geen maandelijkse metingen uitgevoerd op de Andrej Sacharovbrug, de Keizersveerbrug en de Spijkenisserbrug.

Wat betreft het type drijvend zwerfafval heeft de jaarmeting aangetoond dat tussen de 85 en 96% van de zwerfafvalitems in de rivier (op basis van item aantallen) uit plastic bestaat. Daarbij is voor alle, op een na, bruggen het meest voorkomende item gemaakt van zacht plastic, dus (stukken van) tasjes, zakjes, folies en dergelijke. Na de categorie PO Zacht volgen PO Hard, ML (voedselverpakkingen) en 'overig plastic'. Uit de resultaten blijkt dat bruggen in steden veelal een diverse materiaalsamenstelling hebben, vergeleken met bruggen buiten steden. Dit zou eventueel verklaard kunnen worden doordat bruggen in steden dichtbij de bron zitten. Het transport van zwerfafval over land wordt gedreven door factoren als wind en regen. De materiaaleigenschappen van het zwerfafval, zoals massa en vorm, hebben invloed op de transporteerbaarheid van afval items. Zware afval items zoals plastic flessen leggen over het algemeen kortere afstanden af dan lichtere plastic tassen bijvoorbeeld. Bovendien bestaat er de kans dat afval ingevangen wordt door bijvoorbeeld vegetatie. Deze combinatie van omgevingsfactoren en transporteerbaarheid van afval items maakt dat hoe dichterbij de bron, hoe meer soorten afval er te vinden is. Verder weg van de bron zullen vooral afval items gevonden worden die een hoge transporteerbaarheid hebben.

Plastic items zijn verantwoordelijk voor 20 tot 66% van de massa van de drijvend zwerfafvalstroom. Wanneer de drijvend zwerfafvalstromen uitgedrukt in aantal items vergeleken wordt met de drijvend zwerfafvalstromen uitgedrukt in massa blijkt dat de trends veelal elkaar volgen op een aantal pieken na. De mismatch van die pieken is simpelweg te verklaren doordat de massa's van verschillende materialen verschillen. De meeste plastic items hebben een lage massa, waardoor hoge aantallen niet per se leiden tot hoge massa's. Wanneer een enkel zwaar item wordt waargenomen, bijvoorbeeld een stuk metaal, glas of hout, dan piekt het massatransport maar kan een piek in aantallen uitblijven. Gemiddeld gezien hebben niet-plastic items een hogere massa dan plastic items. Hierdoor zijn de massatransporten bij locaties met relatief veel niet-plastic items over het algemeen hoger. De categorisering van de materialen speelt een grote rol in de massatransport schattingen: hoe betrouwbaarder de inschatting van het type materiaal, hoe betrouwbaarder de berekende massatransport. De massa inschatting van items die aan de categorieën 'overig plastic' of 'overig niet-plastic' zijn toegeschreven hebben een onzekerheidsmarge. De verwachting is dat de massa's gebruikt voor deze categorieën aan de hoge kant is. Vooral voor de 'overig niet-plastic' categorie waarvan het gemiddelde gebaseerd is op massa's van onder andere zware materialen zoals metaal, glas en hout. Een aantal van de massapieken zijn dan ook te verklaren door de hoge aantallen items die aan 'overig' categorieën zijn toegeschreven.

6 Conclusies

Zwerfafval brengt schade aan het milieu. Om passende en effectieve maatregelen te nemen is kennis nodig ten aanzien van de hoeveelheden, typen en verspreiding van zwerfafval. Een structurele monitoringssystematiek vormt de basis voor het vergaren van die kennis en inzichten. In het kader van het project *Monitoringsstrategie zwerfafval | macroplastics* is de Meetmethodiek ontwikkeld. Dit is een uitvoerbare, betrouwbare en kostenefficiënt protocol voor het monitoren van drijvend zwerfafval in rivieren. De methode bestaat uit het uitvoeren van visuele waarnemingen vanaf bruggen. Drijvende zwerfafvalitems met een diameter groter dan 2 cm worden met deze methode gemonitord. Doordat afvalitems in materiaalcategorieën worden ingedeeld, kan de samenstelling van de drijvend zwerfafvalstroom in kaart gebracht worden. De ontwerpkeuzes ten aanzien van de Meetmethodiek berusten op de bevindingen van kwaliteitsexperimenten en waarborgen deels de betrouwbaarheid, representativiteit, en validiteit van de metingen. De Meetmethodiek is echter nog niet volledig gevalideerd en wordt nog verder ontwikkeld in vervolgpogingen. Door de zwerfafvalstromen (uitgedrukt in aantal items per tijdseenheid) te combineren met massastatistieken van verschillende typen zwerfafval kunnen inschattingen van de massa van de zwerfafvalstroom in rivieren gemaakt worden. Het merendeel van de beleids- en beheersvragen vanuit de overheid kunnen aan de hand van een structurele monitoring met de Meetmethodiek beantwoord worden.

Binnen het project is ook een jaarmeting uitgevoerd met het WUR Meetprotocol (eerste half jaar) en de Meetmethodiek (tweede halfjaar). Deze monitoring vond plaats in de periode maart 2022 en februari 2023, waarin maandelijks op tien bruggen over de Rijn, Maas en IJssel de drijvend zwerfafvalstroom gemeten is. Op basis van de resultaten van deze jaarmeting kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De drijvend zwerfafvalstroom verschilt tussen monitoringslocaties en loopt uiteen van gemiddeld 9 items/uur (Andrej Sacharovbrug) tot 252 items/uur (Sint Servaasbrug).
- Op sommige locaties is de zwerfafvalstroom vergelijkbaar qua omvang tijdens de verschillende metingen gedurende het jaar, terwijl op andere locaties grote fluctuaties gedurende het jaar zijn gemeten.
- Voor slechts een locatie (de Andrej Sacharovbrug) is een significante positieve correlatie tussen de zwerfafvalstroom en het debiet gevonden.
- Alle locaties samen genomen levert wel een zwakke, maar significante, positieve (monotone) correlatie op.
- De meest voorkomende materiaalcategorie is PO Zacht waar onder andere tasjes, zakjes, en folies onder vallen.
- De drijvend zwerfafvalstroom bestaat voor 85-95% uit plastic items.
- Een hoog aantal zwerfafvalitems leidt niet altijd tot een hoog massatransport aangezien de verschillende typen items verschillende massa's hebben.
- Ondanks dat qua aantallen plastic items overheersen (85-96%), bestaat slechts 20-66% van de massa uit plastic items.

Referenties

Arcadis & WUR (2023). Meetmethodiek voor de monitoring van drijvend zwerfafval in rivieren.

Beaumont, N. J., Aanesen, M., Austen, M. C., Börger, T., Clark, J. R., Cole, M., ... & Wyles, K. J. (2019). Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Marine pollution bulletin*, 142, 189-195.

Brouwer, R., Hadzhiyska, D., Ioakeimidis, C., & Ouderdorp, H. (2017). The social costs of marine litter along European coasts. *Ocean & coastal management*, 138, 38-49.

de Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., ... & Rillig, M. C. (2019). Microplastics can change soil properties and affect plant performance. *Environmental science & technology*, 53(10), 6044-6052.

Kühn, S., & Van Franeker, J. A. (2020). Quantitative overview of marine debris ingested by marine megafauna. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110858.

Thushari, G. G. N., & Senevirathna, J. D. M. (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6(8), e04709.

Torrejon, A., Callaghan, V., & HAGRAS, H. (2013). Panoramic audio and video: towards an immersive learning experience. Proceedings of the Third European Immersive Education Summit, 51-62.

Tramoy, R., Gasperi, J., Colasse, L., Silvestre, M., Dubois, P., Noûs, C., & Tassin, B. (2020). Transfer dynamics of macroplastics in estuaries—new insights from the Seine estuary: part 2. Short-term dynamics based on GPS-trackers. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111566.

van Emmerik, T. & S. de Lange (2021). Pilot monitoring drijvend zwerfafval en macroplastics in rivieren. Wageningen University, Report. 50 pp., <https://doi.org/10.18174/549319>

van Emmerik, T., Loozen, M., Van Oeveren, K., Buschman, F., & Prinsen, G. (2019b). Riverine plastic emission from Jakarta into the ocean. *Environmental Research Letters*, 14(8), 084033.

van Emmerik, T., Mellink, Y., Hauk, R., Waldschläger, K., & Schreyers, L. (2022). Rivers as plastic reservoirs. *Frontiers in Water*, 3, 212.

van Emmerik, T., Tramoy, R., Van Calcar, C., Alligant, S., Treilles, R., Tassin, B., & Gasperi, J. (2019a). Seine plastic debris transport tenfolded during increased river discharge. *Frontiers in Marine Science*, 6, 642.

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, 10.

Wadman, M. & van Emmerik, T (2021). Meetprotocol Drijvend Zwerfafval en Macroplastics in Rivieren. Wageningen University, Report.

Bijlagen

Bijlage 1	Memo tijdsresolutie-experiment
Bijlage 2	Memo brugsegmentexperiment
Bijlage 3	Memo itemgrootte-experiment
Bijlage 4	Memo rivier vs. oever experiment

Bijlage 1

ONDERWERP

Memo onderzoeksresultaten van het tijdsresolutie-experiment

PROJECTNUMMER

30120165

DATUM

9 september 2022

VAN

Yvette Mellink
Tim van Emmerik
Simone van Langen
Anne de Weme

AAN

Projectgroep Monitoring Drijvend Zwerfafval

Inleiding

Voor het monitoren van drijvend zwerfafval in rivieren wordt het WUR meetprotocol gebruikt. In het huidige meetprotocol wordt op elk brugsegment vier maal 5 minuten gemeten, waarbij er grofweg 1 á 2 minuten tussen de metingen zit. Het tijdsresolutie-experiment heeft als doel het achterhalen van de representativiteit van verschillende meetduren. Hierbij is een representatieve meetduur een meetduur die is afgesteld op specifieke doelen van Rijkswaterstaat. Dit experiment brengt in kaart in hoeverre de meetduur van 5 minuten passend is en of deze meetduur eventueel in het verbeterde meetprotocol aangepast moet worden. Deze memo beschrijft de methodiek van dit experiment, de belangrijkste resultaten, en tot slot de conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de optimale meetduur.

Beschrijving methodiek

Veldwerk

Het tijdsresolutie-experiment is uitgevoerd op de Erasmusbrug (Rotterdam) over de Nieuwe Maas en de Westervoortse Brug (Westervoort) over de IJssel, omdat dit, op basis van de Pilot Metingen in 2021, respectievelijk de locaties met de hoogste (4 miljoen items/jaar) en laagste (0,9 miljoen items/jaar) gemiddelde afvalstromen zijn. Tijdens de meting is het exacte tijdstip waarop een drijvend zwerfafval item geobserveerd werd genoteerd. Bijlage 1 bevat het veldwerkformulier dat gebruikt is voor dit experiment. Er is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende typen zwerfafval. De brugsegmenten die voor dit experiment gebruikt zijn komen overeen met de segmenten die tijdens de maandelijkse monitoring gebruikt worden. De Erasmusbrug heeft zes brugsegmenten, die elk een keer in de ochtend en in de middag gemeten zijn op 17 juni 2022, dus twaalf tijdsreeksen van 1 uur. Alle ingezette waarnemers hadden ervaring met brugtellingen.

Data-analyse

De 1 uur lange tijdsreeksen zijn elk apart geanalyseerd. Voor elke tijdreeks is eerst de totale meetduur van 60 minuten opgedeeld in 60 tijdsblokken van 1 minuut. Doordat het exacte tijdstip van waarnemen is genoteerd, is vervolgens elk waargenomen zwerfafval item aan een van de 60 1-minuut-tijdsblokken toegeschreven. Een zwerfafval item dat bijvoorbeeld na 13,5 minuut is waargenomen, is aan het tijdsblok 00:13:00 – 00:14:00 toegeschreven.

Voor dit experiment zijn tijdsblokken met een lengte L van 1 t/m 60 minuten getest op de mate waarin het waargenomen aantal representatief is ten opzichte van het daadwerkelijk gemeten aantal items. Hiervoor is voor ieder tijdsblok i van lengte L (in minuten) de zwerfafvalstroom in items per uur, F_i , berekend op basis van het aantal items dat in tijdsblok i is waargenomen. Vervolgens is de

absolute afwijking (items/uur) tussen die berekende zwerfafvalstroom (items/uur), F_i , en de daadwerkelijke zwerfafvalstroom (items/uur), F^* , berekend:

$$\Delta F = |F_i - F^*| \quad (1)$$

De daadwerkelijke zwerfafvalstroom in items per uur, F^* , is gelijk aan het totaal aantal zwerfafval items dat daadwerkelijk tijdens de volledige 1 uur lange meting is waargenomen. Er zitten meerdere tijdsblokken van lengte L in 1 uur. Het aantal (unieke) tijdsblokken n van lengte L (minuten) dat in 1 uur zit, is berekend met de volgende formule:

$$n = (61 - L) \quad (2)$$

In 1 uur zitten 60 unieke tijdsblokken met een lengte van 1 minuut zitten, 59 met een lengte van 2 (opeenvolgende) minuten, 58 van 3 (opeenvolgende) minuten, enzovoorts. De afwijking (berekend met vergelijking 1) wordt voor alle n unieke tijdsblokken van lengte L berekend. Dus bijvoorbeeld voor de tijdsblokken van 3 minuten, is voor alle 58 mogelijke tijdsblokken de afwijking berekend. Vervolgens is per tijdsblok van lengte L de gemiddelde afwijking berekend en uitgedrukt in een percentuele afwijking van de daadwerkelijke zwerfafvalstroom. Dat betekent dat een 100% afwijking bij bijvoorbeeld een daadwerkelijke zwerfafvalstroom van 5 items/uur, overeenkomt met een afwijking van 5 items/uur.

Aanvullend is er een verdiepende data analyse uitgevoerd om te bepalen of vier maal vijf minuten meten een representatievere meting oplevert dan een maal 20 minuten aaneengesloten meten. Dit is gedaan door voor elk segment 100 maal de gemiddelde zwerfafvalstroom (in items/uur) te berekenen op basis van vier willekeurig gekozen 5 minuten blokken. Ook hier is vervolgens de gemiddelde afwijking berekend en die is vergeleken met de gemiddelde afwijking van de zwerfafvalstroom berekend op basis van de 20 minuten blokken.

Resultaten

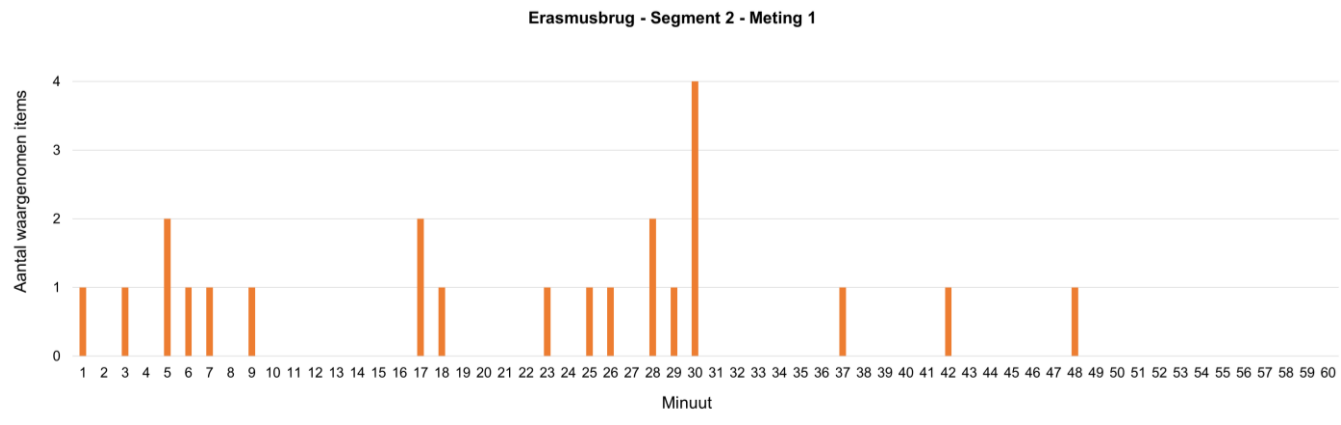
In **Tabel 1** staat voor alle uur metingen het totaal aantal waargenomen zwerfafval items. De getallen in Tabel 1 zijn de daadwerkelijk gemeten zwerfafvalstromen in items per uur (F^* in vergelijking 1). Uit de uurmetingen blijkt dat de zwerfafvalstroom erg variabel is. De variaties tussen de zwerfafvalstromen gemeten tijdens de 1^e en 2^e meetronde op de Erasmusbrug kunnen (deels) toegeschreven worden aan stroomsnelheidsverschillen. De stroomsnelheid was tijdens de 2^e meetronde lager dan in de ochtend als gevolg van de getijden dynamiek.

Tabel 1. Het totaal aantal waargenomen zwerfafval items tijdens de uur metingen op de Erasmusbrug en de Westervoortse Brug.

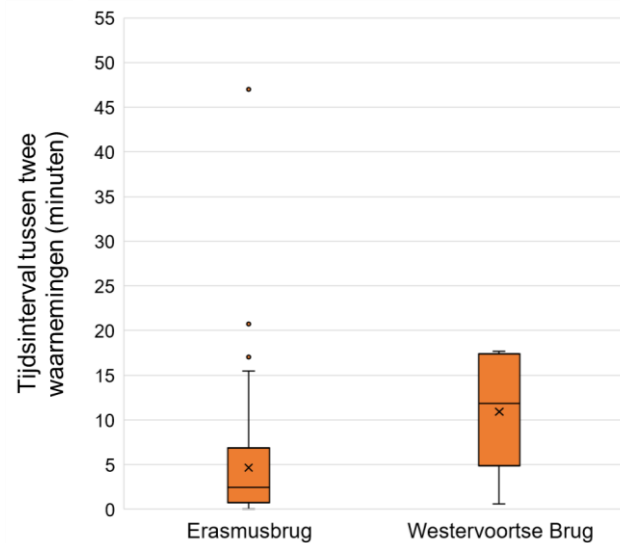
Brug- segment	Daadwerkelijk gemeten zwerfafvalstroom (items/uur), F^*			
	Erasmusbrug		Westervoortse Brug	
	Meting 1	Meting 2	Meting 1	Meting 2
#1	14	4	5	0
#2	23	2	2	1
#3	10	1	2	1
#4	2	1	-	-
#5	1	0	-	-
#6	12	12	-	-

In **Figuur 1** zijn de resultaten van meting 1 op segment 2 van de Erasmusbrug te zien (in Bijlage 2 zijn dit soort grafieken voor alle uitgevoerde uur metingen te vinden). Deze grafiek laat zien op welke momenten tijdens de uur meting zwerfafval items zijn waargenomen. De grafiek geeft ook inzicht in hoeveel tijd er tussen twee opeenvolgende waarnemingen zit. **Figuur 2** laat de spreiding van de tijdsintervallen tussen twee opeenvolgende waarnemingen zien voor alle metingen waarin twee of meer zwerfafval items zijn waargenomen. Hieruit blijkt dat de tijdsintervallen op de Erasmusbrug redelijk constant is en meestal tussen de 0,8 en 6,9 minuten ligt met een gemiddelde van 4,7 minuten. Op de Westervoortse Brug ligt het tijdsinterval gemiddelde iets hoger, namelijk 10,9 minuten,

ook is er een grotere spreiding, namelijk meestal tussen de 4,9 en 17,4 minuten. In het geval dat alle brugsegmenten op alle bruggen een constant tijdsinterval tussen de voorbijrijvende zwerfafval items hebben, is de optimale meetduur simpelweg gelijk aan dat tijdsinterval. In de praktijk blijkt dus dat het tijdsinterval tussen waarnemingen varieert, niet alleen tussen verschillende bruggen, maar ook tussen verschillende segmenten op een brug, en zelfs binnen een uur meting op hetzelfde segment.



Figuur 1. Aantal waargenomen items per minuut tijdens de eerste uur meting op segment 2 op de Erasmusbrug.

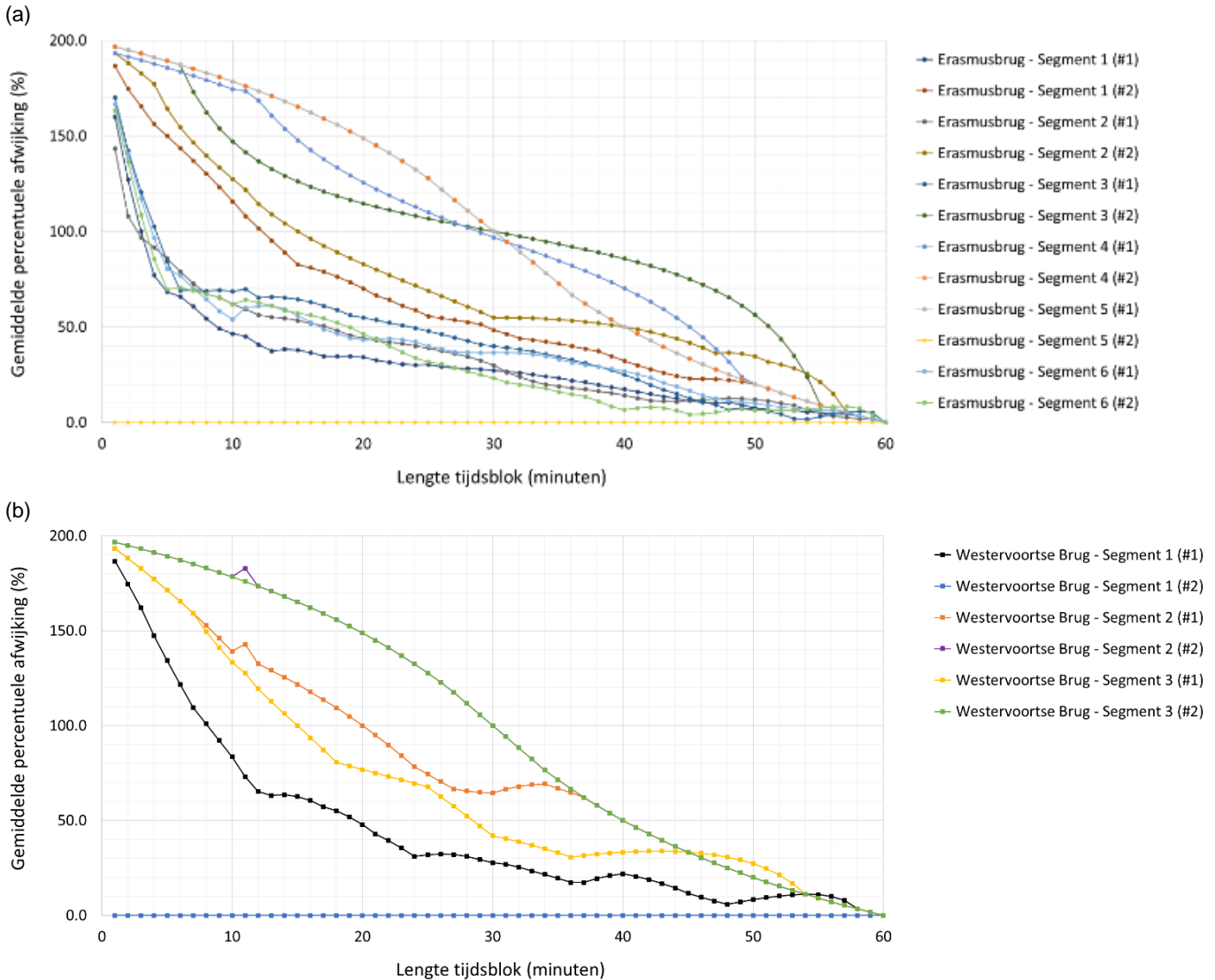


Figuur 2. Tijdsinterval tussen twee opeenvolgende waarnemingen van zwerfafval op basis van alle metingen op de Erasmusbrug en de Westervoortse Brug.

In **Figuur 3** staan de absolute gemiddelde afwijkingen die voor elk tijdsblok met een lengte van 1 t/m 60 minuten berekend zijn op basis van de uur metingen die zijn uitgevoerd op de Erasmusbrug (**Figuur 3a**) en de Westervoortse Brug (**Figuur 3b**). Ondanks dat alle lijnen een daling laten zien van de afwijking naarmate de meetduur langer wordt, zijn er ook verschillen tussen de lijnen. Deze verschillen worden grotendeels veroorzaakt doordat de tijdsintervallen tussen de waargenomen items per iets meting verschilt. Een meetduur met een lengte van bijvoorbeeld 10 minuten resulteert bij meting 2 op segment 2 op de Erasmusbrug in een afwijking van 128%, terwijl deze meetduur bij meting 1 op segment 1 gemiddeld slechts 47% afwijkt (**Figuur 3a**). De verklaring hiervoor is dat er in meting 1 op segment 1 14 items zijn waargenomen en het gemiddelde tijdsinterval tussen die items 4 minuten is, wat dichtbij 10 minuten ligt. Terwijl tijdens meting 2 op segment 2 er slechts 2 items zijn waargenomen met daartussen 47 minuten, hierdoor scoort een meetduur van 10 minuten hier minder goed qua representativiteit.

De daling van de afwijking is over het algemeen het steilst tussen de tijdsblokken met een lengte van 1 tot circa 10-15 minuten, en vlak af vanaf tijdsblokken van >30 minuten. Dit betekent dat het verlengen van de meetduur vooral bij korte meetduren de meeste

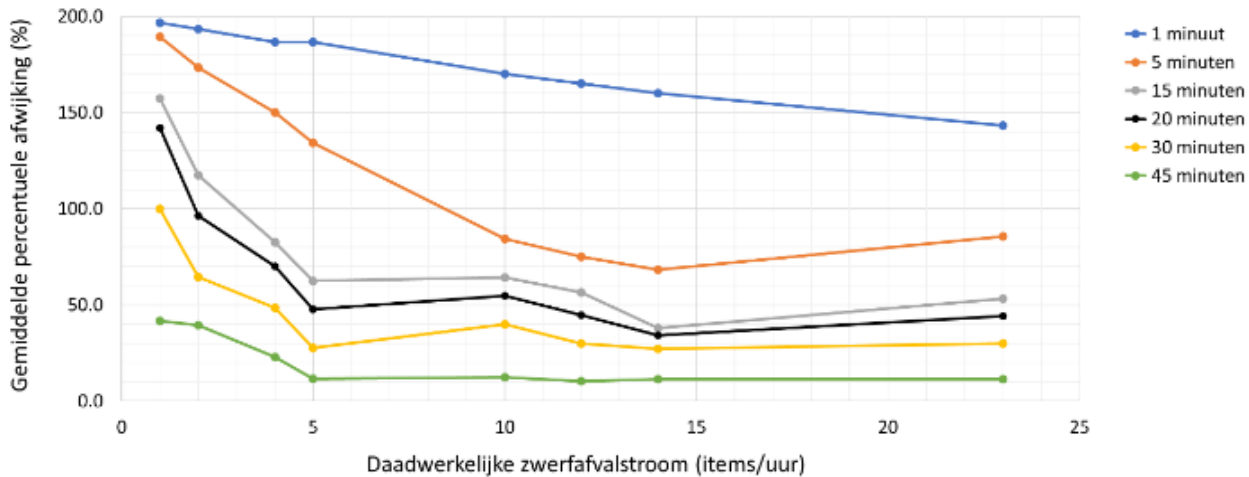
winst oplevert qua representativiteitstoename. Een tijdsblok verlenging van 40 naar 45 minuten bijvoorbeeld, levert een gemiddelde daling van de afwijking van 10% op, terwijl een verlenging van 5 naar 10 minuten gemiddeld de afwijking met 20% verlaagd.



Figuur 3. De absolute percentuele gemiddelde afwijkingen van de zwerfafvalstromen (items/uur) berekend op basis van de waargenomen zwerfafval items in tijdsblokken van 1 t/m 60 minuten ten opzichte van de daadwerkelijk gemeten zwerfafvalstroom (items/uur) op de Erasmusbrug (a) en de Westervoortse Brug (b). Op elk segment zijn twee metingen uitgevoerd: 'meting #1' en 'meting #2'. De grafieken van meting #2 op segment 4 en meting #1 op segment 5 op de Erasmusbrug zijn identiek, omdat in beide metingen 1 zwerfafval item is waargenomen en die waarneming vond (toevallig) in allebei de gevallen plaats in de 36^e minuut.

Om te onderzoeken of de mate van vervuiling invloed heeft op de optimale meetduur is voor een aantal tijdsblokken de afwijking uitgezet tegen de daadwerkelijke zwerfafvalstroom. **Figuur 4** laat de gemiddelde afwijkingen van de zwerfafvalstromen (in items/uur) zien voor verschillende daadwerkelijk gemeten zwerfafvalstromen voor tijdsblokken met een lengte van 1, 2, 15, 20, 30, en 45 minuten. In deze analyse zijn de metingen van de Erasmusbrug en de Westervoortse Brug samengevoegd. **Figuur 4** laat zien dat voor een tijdsblok met lengte L , de afwijking afneemt naarmate de vervuilingsgraad toeneemt. Dit betekent dat een meting van een bepaalde meetduur, bijvoorbeeld van 5 minuten, op een locatie met een lage vervuilingsgraad minder representatief is dan op een locatie met een hogere vervuilingsgraad. De daling in afwijking is over het algemeen het steilst bij daadwerkelijke afvalstromen tussen de 1 en 10 items/uur en af vlakkt daarna af. Dit suggereert dat de representativiteit van een meetduur vanaf een bepaalde

vervuilingsraad stabiliseert. Op basis van deze dataset stabiliseert de afwijking vanaf een vervuilingsgraad vanaf 15 items/uur. De grafiek in **Figuur 4** kan gebruikt worden om te bepalen welke meetduur vereist is op een bepaalde locatie om onder een gewenste afwijking te blijven.



Figuur 4. De absolute percentuele gemiddelde afwijkingen van de zwerfafvalstromen (items/uur) uitgezet tegen de daadwerkelijk gemeten zwerfafvalstroom voor tijdsblokken met een lengte van 1, 2, 15, 20, 30, en 45 minuten. De data van de metingen op de Erasmusbrug en de Westervoortse Brug zijn samengevoegd.

In het huidige meetprotocol is de meetduur 5 minuten. De grafiek van **Figuur 4** laat zien dat een tijdsblok van 5 minuten voor daadwerkelijke afvalstromen van 1-5 items/uur een afwijking van 180-140% oplevert. In eerste instantie lijkt dat een grote afwijking, maar de orde grootte van de (berekende) zwerfafvalstroom, daar waar het in een monitoring om gaat, blijft hetzelfde. Een afwijking van 200% komt overeen met een factor 3 en een afwijking van 100% komt overeen met slechts een factor 2.

Combinatie van meetduur en meetfrequentie

In feite wordt er in het huidige meetprotocol vier maal 5 minuten gemeten. Daarom is aanvullend onderzocht of de gemiddelde afwijking van een meetduur van 20 aaneengesloten minuten hoger/lager is dan de gemiddelde afwijking van een zwerfafvalstroom die berekend is op basis van vier (willekeurige) 5 minuten tijdsblokken. **Tabel 2** laat van die analyse de resultaten zien. Meting 2 op segment 5 van de Erasmusbrug en meting 2 op segment 1 op de Westervoortse Brug spelen in deze analyse geen rol, omdat daar 0 items/uur daadwerkelijk zijn waargenomen, waardoor de afwijking altijd 0% is ongeacht de meetduur. Uit deze analyse blijkt dat 20 minuten aaneengesloten meten niet aanzienlijk beter is dan vier maal 5 minuten.

Tabel 2. De afwijkingen van de berekende zwerfafvalstroom op basis van vier blokken van 5 minuten en op basis van blokken van 20 aaneengesloten blokken van de daadwerkelijke zwerfafvalstroom voor alle metingen op de Erasmusbrug en de Westervoortse Brug.

Brug	Segment	Meting	Gemiddelde procentuele afwijking (o.b.v. 100 willekeurige combinaties van 4 blokken van 5 minuten)	Gemiddelde procentuele afwijking (o.b.v. alle blokken van 20 aaneengesloten minuten)	Vershil in afwijking
Erasmusbrug	1	#1	43.4	34.1	9.3
		#2	69.8	70.1	-0.4
	2	#1	43.7	44.2	-0.6
		#2	83.5	82.9	0.6
	3	#1	39.8	54.9	-15.1
		#2	130.0	114.6	15.4
	4	#1	133.0	125.6	7.4
		#2	132.0	148.8	-16.8
	5	#1	129.0	148.8	-19.8
		#2	0.0	0.0	0.0
	6	#1	46.5	43.3	3.2
		#2	29.3	46.3	-17.1
Westervoortse Brug	1	#1	58.2	38.4	19.8
		#2	0.0	0.0	0.0
	2	#1	87.0	100.0	-13.0
		#2	132.0	148.8	-16.8
	3	#1	86.5	76.8	9.7
		#2	130.0	148.8	-18.8

Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het tijdsresolutie-experiment was het in kaart brengen van een passende meetduur die is afgestemd op de doelen van de monitoring. De optimale meetduur is het resultaat van een samenspel van representativiteit en tijd efficiëntie. De meetduur moet lang genoeg zijn om tot een representatieve waarneming te komen, maar de meting moet niet te lang zijn, om te voorkomen dat de doelmatigheid van de monitoring in het geding komt. De uurmetingen, die de basis vormden van dit experiment, laten zien dat de zwerfafvalstroom variabel is en dat het tijdsinterval tussen voorbij drijvende zwerfafval items niet constant is. Het dynamische karakter van de zwerfafvalstromen in rivieren maakt het een uitdaging om een universele optimale meetduur vast te stellen.

Op basis van het tijdsresolutie-experiment zijn we in staat de volgende conclusies te trekken die bij kunnen dragen aan het vaststellen van de optimale meetduur voor het verbeterde meetprotocol:

- hoe langer de meetduur, hoe lager de afwijking tussen de geëxtrapoleerde zwerfafvalstroom en de daadwerkelijke zwerfafvalstroom;
- het verhogen van de meetduur levert bij lage meetduren tot ongeveer 10-15 minuten relatief de meeste winst op qua representativiteitsverhoging;
- het verhogen van de meetduur levert bij meetduren vanaf 30 minuten relatief weinig op qua representativiteitsverhoging;
- de maximale afwijkingen (behorende bij een meetduur van 1 minuut) zijn lager dan 200%, wat betekent dat de berekende zwerfafvalstromen niet met meer dan een factor 3 afwijkt van de daadwerkelijke afvalstroom (geen orde grootte verschil);
- in rivieren met een hoge afvalstroom zijn korte meetduren meer representatief
- vier maal 5 minuten meten leidt tot een vergelijkbaar resultaat als één maal 20 minuten aaneengesloten meten, maar door de vier metingen door verschillende personen uit te laten voeren kan voor een eventuele 'observer bias' gecorrigeerd worden

Naar aanleiding van deze conclusies bevelen we aan om de meetduur niet te verhogen naar 30 minuten of meer, omdat dat qua representativiteitsverhoging niet veel oplevert. Alhoewel de representativiteit wel aanzienlijk verbeterd per minuut meetduur verhoging tot circa 10-15 minuten. De resultaten van het tijdsresolutie experiment kunnen als handvatten gebruikt worden voor het bepalen van de vereiste meetduur om onder een gewenste afwijking tussen de berekende en daadwerkelijke zwerfafvalstroom te blijven.

Bijlage 2

ONDERWERP

Memo onderzoeksresultaten van het brugsegment-experiment

PROJECTNUMMER

30120165

DATUM

9 september 2022

VAN

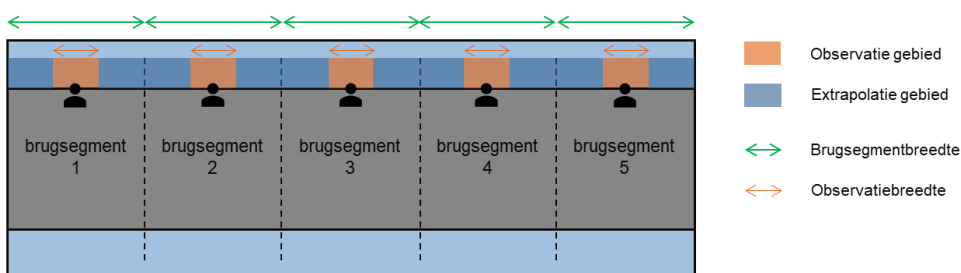
Yvette Mellink
 Tim van Emmerik
 Simone van Langen
 Anne de Weme

AAN

Projectgroep Monitoring Drijvend Zwerfafval

Inleiding

Voor het monitoren van drijvend zwerfafval in rivieren wordt het WUR meetprotocol gebruikt. Hierin worden visuele waarnemingen vanaf bruggen uitgevoerd. De zwerfafvalstroom is doorgaans niet uniform langs het rivierprofiel, daarom wordt er op meerder locaties per brug gemeten. Dit deelt de brug op in brugsegmenten. De brugsegmentbreedte (de totale brugbreedte gedeeld door het aantal segmenten) is meestal niet gelijk aan de observatiebreedte (Figuur 1). De observatiebreedte is het deel van het wateroppervlak dat direct door de waarnemer waargenomen wordt en wordt geschat op 15 meter. Voor het deel van het wateroppervlak dat niet direct geobserveerd wordt, worden de observaties geëxtrapolerd (het extrapolatiegebied aangegeven in Figuur 1). Die extrapolatie brengt een onzekerheidsfactor met zich mee. Om tot een tijdefficiënte monitoringsstrategie te komen moet de balans gevonden worden tussen het aantal brugsegmenten en de representativiteit van de metingen. Op minder segmenten meten is sneller, maar betekent minder inzicht in de variatie over de breedte van de rivier en een groter extrapolatiegebied. Het doel van het brugsegment-experiment is het vinden van deze balans en het bepalen van een passend aantal brugsegmenten per brug, zodat dat de gemeten (en berekende) zwerfafvalstroom representatief is.



Figuur 1. Schematisch bovenaanzicht van een brug opgedeeld in vijf brugsegmenten. De observatie- en extrapolatiegebieden zijn gearceerd en de pijlen geven de brugsegment- en observatiebreedtes aan.

Beschrijving methodiek

Veldwerk

Er is voor het brugsegment-experiment geen aanvullend veldwerk uitgevoerd. De data die gebruikt is voor dit experiment is reeds verzameld tijdens de pilot metingen in 2021.

Data-analyse

Voor de analyse zijn bruggen geselecteerd die in het huidige monitoringsprogramma zijn opgenomen en waarvoor (1) minstens 11 maandelijkse metingen in 2021 zijn verricht, zodat seizoensgebonden fluctuaties meegenomen worden, en (2) waarop altijd op hetzelfde aantal segmenten is gemeten (Tabel 1). De metingen tijdens extreem hoog water (juli 2021) zijn uit de analyse gelaten, met de reden dat dit experiment gericht is op het vinden van een passend aantal brugsegmenten dat gemeten moet worden onder normale waterstanden en afvoeren.

Tabel 1. Overzicht van de bruggen in het huidige monitoringsprotocol en de bruggen die geselecteerd zijn voor het brugsegment experiment.

Brug in huidige monitoringsprogramma	Breedte rivier (m)	Aantal brugsegmenten	Aantal keer gemeten in het pilot programma (2021)	Altijd op hetzelfde aantal segmenten gemeten tijdens de pilot?	Geselecteerd voor dit data experiment?
Westervoortse Brug (Westervoort)	75	3	12	Ja	Ja
Maasbrug (Ravenstein)	135	5	12	Ja	Ja
Erasmusbrug (Rotterdam)	480	6	12	Ja	Ja
Stadbrug (Kampen)	205	6	12	Ja	Ja
Sint Servaasbrug (Maastricht)	165	6	11	Ja	Ja
Spijkenisserbrug (Spijkenisse)	295	4	0	Ja	Nee
Andrej Sacharovbrug (Arnhem)	120	4	2	Ja	Nee
Keizersveerbrug (Keizersveer)	265	5	3	Ja	Nee
Merwedeburg (Gorinchem)	500	6	3	Ja	Nee
Snelbinder (Nijmegen)	330	5	12	Nee	Nee

De data-analyse voor een brug bestond uit de volgende stappen:

1. Bereken voor elke maandmeting het 'segment daggemiddelde' (SDG) voor alle segmenten. Het SDG van een segment is het gemiddelde van de waarnemingen die op die dag op dat segment gedaan zijn. Meestal worden er vier metingen per dag per segment uitgevoerd.
2. Bereken voor elke maandmeting het 'brug daggemiddelde' (BDG). Het BDG van een brug is het gemiddelde van de SDGs van alle segmenten.
3. Bereken voor elke maandmeting hoeveel de SDG van alle individuele brugsegmenten afwijkt van de BDG. Van deze afwijking is de absolute waarde genomen die vervolgens is uitgedrukt in (i) een afwijking in het aantal items per 5 minuten en in (ii) een procentuele afwijking ten opzichte van de BDG.
4. Bereken voor elke maandmeting hoeveel het gemiddelde van SDGs op basis van combinaties van 2, 3, 4, of 5 segmenten (afhankelijk van het totaal aan segmenten op de brug) absoluut afwijkt van de BDG. Ook deze waarden zijn zowel uitgedrukt in (i) een afwijking in het aantal items per 5 minuten en in (ii) een procentuele afwijking ten opzichte van de BDG. Het aantal unieke combinaties van n brugsegmenten uit totaal N brugsegmenten kan berekend worden met de volgende formule:

$$\frac{N!}{n! * (N - n)!}$$

Met deze methode bereken je hoeveel het gemiddelde van een x aantal brugsegmenten afwijkt van het gemiddelde van alle gemeten brugsegmenten. Aan de hand hiervan kan bepaald worden in hoeverre minder segmenten leidt tot een vergelijkbare schatting van de zwerfafvalstroom.

Ter verduidelijking van de methode volgt hieronder een voorbeeld voor een fictieve brug met 3 segmenten:

1. 1^e maandmeting:
SDG van Segment 1 = 6 items/5 min
SDG van Segment 2 = 1 items/5 min
SDG van Segment 3 = 5 items/5 min
2. 1^e maandmeting:
BDG = (6 + 1 + 5)/3 = 4 items/5 min
3. 1^e maandmeting:
absolute afwijking tussen de SDG van Segment 1 en de BDG = | 6 - 4 | = 2 items/5 min → (2/4)*100% = 50%

absolute afwijking tussen de SDG van Segment 2 en de BDG = $|1 - 4| = 3$ items/5 min → $(3/4) \cdot 100\% = 75\%$
 absolute afwijking tussen de SDG van Segment 3 en de BDG = $|5 - 4| = 1$ items/5 min → $(1/4) \cdot 100\% = 25\%$

4. Voor een brug met 3 segmenten zijn alleen unieke combinaties van 2 segmenten mogelijk:

1^e maandmeting:

gemiddelde SDG van Segment 1 & 2 = $(6 + 1)/2 = 3,5$ items/5 min, dat wijkt $|3,5 - 4| = 0,5$ items/5 min af van de BDG
 → 12,5%

gemiddelde SDG van Segment 1 & 3 = $(6 + 5)/2 = 5,5$ items/5 min, dat wijkt $|5,5 - 4| = 1,5$ items/5 min af van de BDG
 → 37,5%

gemiddelde SDG van Segment 2 & 3 = $(1 + 5)/2 = 3,0$ items/5 min, dat wijkt $|3,0 - 4| = 1,0$ items/5 min af van de BDG
 → 25,0%

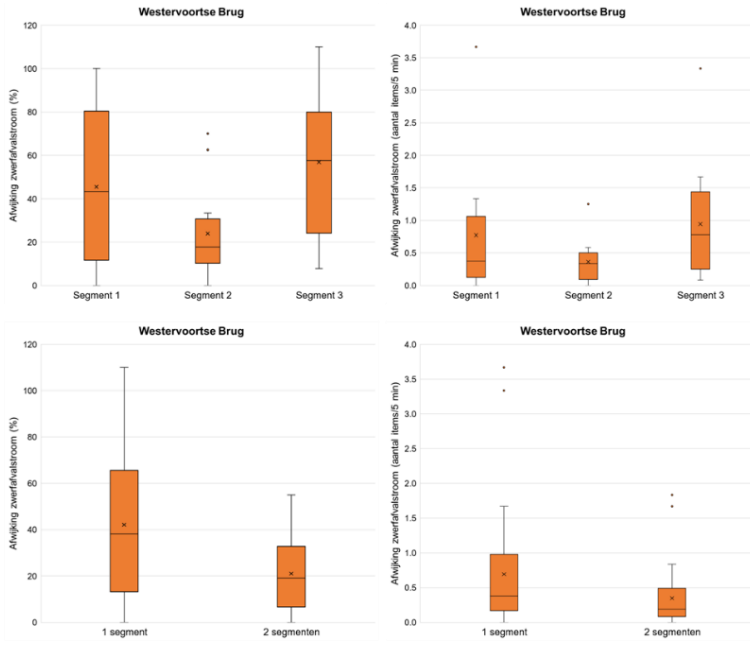
Deze vier stappen zijn voor alle maandmetingen uitgevoerd.

Resultaten

Figuur 2 laat voor de Westervoortse Brug (a), de Maasbrug (b), de Sint Servaasbrug (c), de Erasmusbrug (d), en de Stadsbrug (e) elk vier boxplots zien. Voor elke brug laten de twee bovenste boxplots de verdeling van de afwijkingen voor elk individueel segment zien - uitgedrukt in '%' (linker boxplot) en in 'aantal items per 5 minuten' (rechter boxplot). De twee onderste boxplots geven de verdeling van de afwijkingen weer wanneer slechts 1 segment of combinaties van 2, 3, 4, of 5 segmenten gebruikt wordt, waarbij ook hier de afwijkingen uitgedrukt zijn in % (linker boxplot) en in aantal items per 5 minuten (rechter boxplot). Voor de Westervoortse Brug in Figuur 2a laat de linker boven boxplot zien dat segment 1, 2, en 3 individueel respectievelijk 46%, 24% en 57% van de bruggemiddeldes afwijken (ter herinnering: elke brug heeft voor elke meetronde een BDG). De rechter boven boxplot drukt die afwijkingen uit in aantal items per 5 minuten: 0,8; 0,4 en 0,9. De linker onder boxplot laat zien hoeveel het gemiddelde van 1 segment meten afwijkt: 42%. En hoeveel het gemiddelde van 2 segmenten (op basis van de segment combinaties: 1 & 2, 1 & 3, en 2 & 3) afwijkt: 21%. Deze percentuele afwijkingen zijn in de rechter onder boxplot uitgedrukt in aantal items per 5 minuten: 0,7 en 0,4.

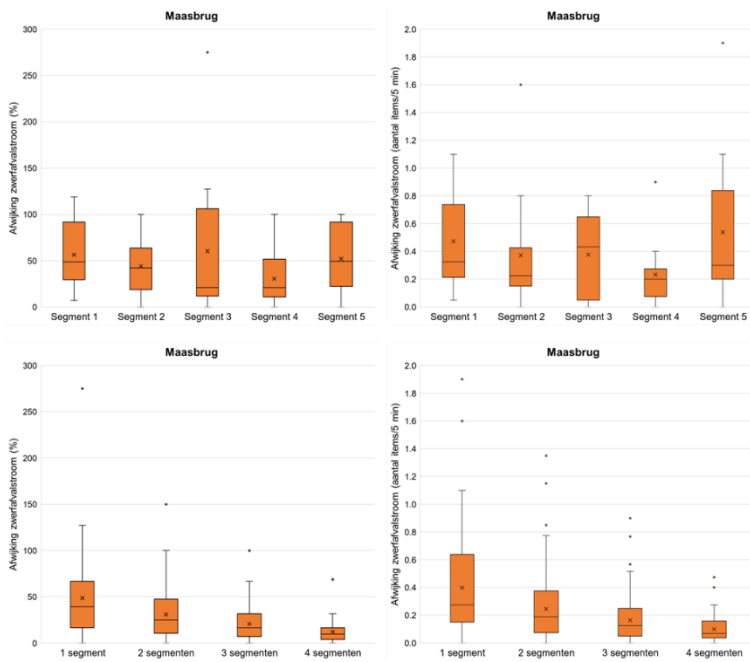
Over het algemeen schommelen de afwijkingen van de individuele segmenten ten opzichte van het bruggemiddelde tussen de 40% en 60%. Op alle bruggen, behalve de Maasbrug, zit er een verschil tussen het middelste segment en (een of beide van) de buitenste segmenten. Waarbij de buitenste segmenten vaak meer afwijken van het gemiddelde dan het middelste segment. Bijvoorbeeld op de Westervoortse Brug, waar de buitenste segmenten 46% en 57% afwijken en de middelste 24%, of segment 6 op de Sint Servaasbrug dat 138% naast het brug daggemiddelde zit, terwijl de overige segmenten rond de 50% zitten (Figuur 2c). Hoe meer variatie tussen de individuele segmenten, hoe variabelere het zwerfafvalstroomprofiel is. De mate van variabiliteit in het zwerfafvalstroomprofiel is bepalend voor het aantal segmenten dat gemeten moet worden om tot een representatieve meting te komen voor de gehele brug. Waarbij geldt hoe variabelere het profiel, hoe meer segmenten gemeten moeten worden. Op de Maasbrug bijvoorbeeld zijn de afwijkingen van alle 5 segmenten vergelijkbaar (Figuur 2b), wat een homogener zwerfafvalstroomprofiel suggereert. Om de percentuele afwijkingen in absolute context te zetten zijn alle afwijkingen ook uitgedrukt in het aantal items/ 5 minuten (zie de rechter boxplots in Figuur 2). Hieruit blijkt dat een afwijking van 50% voor de meeste bruggen betekent dat je er ongeveer 1 item per 5 minuten naast zit.

(a)

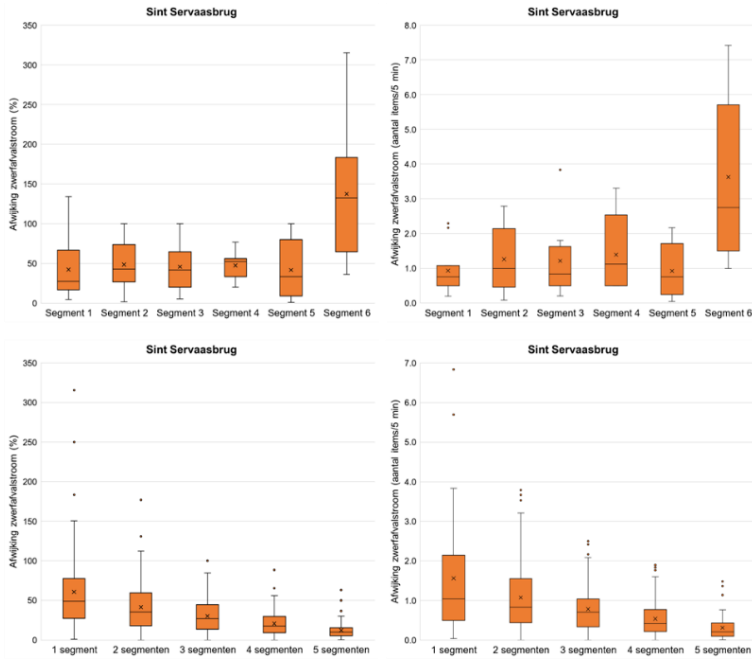


Figuur 2 vervolg op volgende pagina

(b)

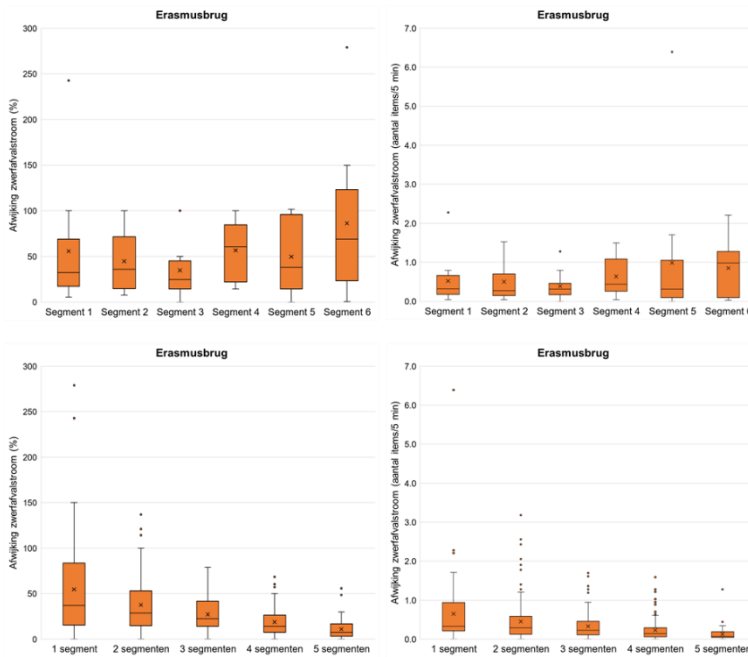


(c)

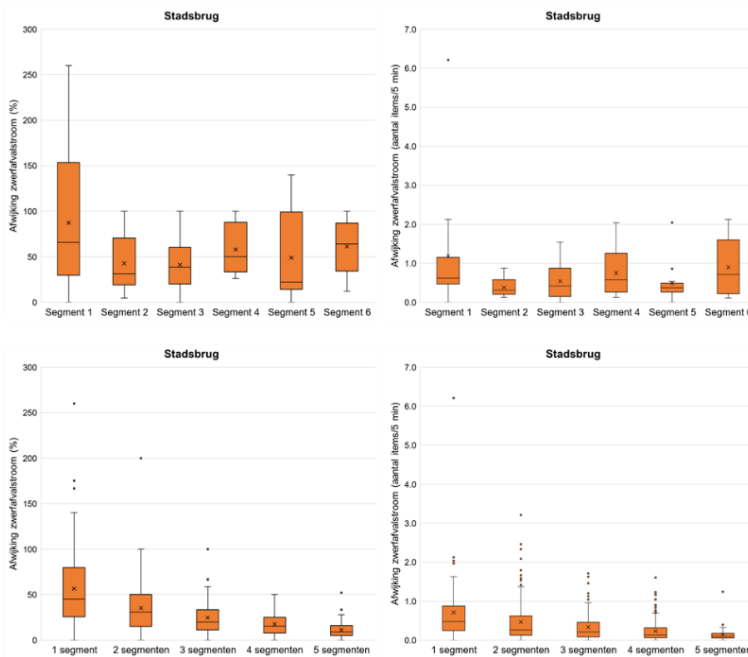


Figuur 2 vervolg op volgende pagina

(d)



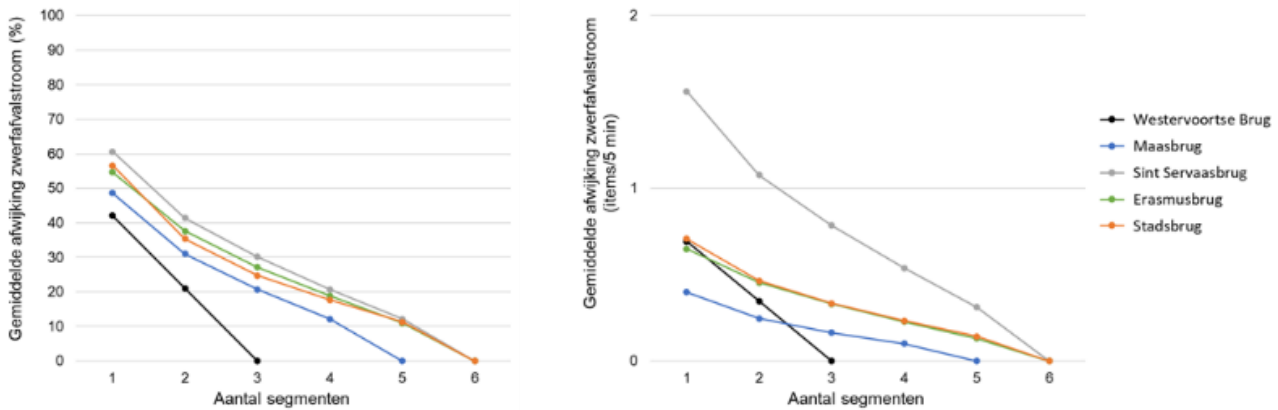
(e)



Figuur 2. De zwerfafvalstroom afwijkingen van individuele segmenten (bovenste boxplots) en combinaties van segmenten (onderste boxplots) ten opzichte van het brug daggemiddelde (BDG) voor (a) de Westervoortse Brug, (b) de Maasbrug, (c) de Sint Servaasbrug, (d) de Erasmusbrug, en (e) de Stadsbrug. De linker boxplots drukken de afwijking uit in een percentage ten opzichte van de BDG (zie methode voor toelichting en berekening) en de rechter boxplots drukken de afwijking uit in aantal items/5 minuten.

De data analyse laat zien dat de afwijking uiteraard omlaag gaat wanneer de metingen van meerdere segmenten gecombineerd worden (onderste boxplots van de bruggen in **Figuur 2**). **Figuur 3** laat zien dat voor alle bruggen geldt dat twee segmenten meten de gemiddelde afwijking met 20% verlaagt ten opzichte van een segment meten. Drie in plaats van twee segmenten meten leidt voor de

Westervoortse Brug opnieuw tot een ~20% afname in de afwijking, maar leidt voor de andere bruggen tot iets lagere afname: ~10%. Deze 10% afwijkingsdaling per toegevoegd segment houdt aan totdat het laatste segment wordt toegevoegd, dan neemt het weer iets toe: ~12%. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met dat de zwerfafvalstromen van locatie tot locatie verschillen en een 20% afwijking voor de Sint Servaasbrug gelijk is aan 0,5 items/5 min, maar voor de Maasbrug bijvoorbeeld neerkomt op 0,15 items/5 min. De grafieken van de bruggen met 6 segmenten (de Sint Servaasbrug, de Erasmusbrug, en de Stadsbrug) in **Figuur 3** liggen dicht bij elkaar. Dit suggereert dat de trend voor bruggen met hetzelfde aantal segmenten gelijk is, maar dit kunnen we niet garanderen.



Figuur 3. De gemiddelde afwijking van de gemiddelden van de segmenten ten opzichte van het brug gemiddelde voor alle bruggen uitgedrukt in percentages (a) en aantal items per 5 minuten (b). Voor de gemiddelde afwijking bij het gebruik van 1 segment zijn alle individuele segmenten gebruikt. Bij het gebruik van twee of meer segmenten zijn alle unieke combinaties van dat aantal segmenten gebruikt.

Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het brugsegment-experiment was bepalen van een passend aantal bemeten brugsegmenten. Dit is een samenspel van representativiteit en tijd efficiëntie. Het aantal segmenten moet genoeg zijn om tot een representatieve meting te komen, maar het aantal moet niet te hoog zijn anders duurt het monitoren per brug te lang en nemen de kosten van de monitoring toe. Dit experiment is gebaseerd op de metingen op de Westervoortse Brug, de Maasbrug, de Sint Servaasbrug, de Erasmusbrug, en de Stadsbrug waar tijdens het pilot monitoringsprogramma in 2021 maandelijks metingen gedaan zijn. De zwerfafvalstroom op basis van alle gemeten segmenten is gebruikt als ijkwaarde en door systematisch segmenten weg te laten konden de afwijkingen van metingen op basis van 1 tot 5 segmenten berekend worden.

Op basis van dit data experiment zijn we in staat de volgende conclusies te trekken die bij kunnen dragen aan het vaststellen van het optimale aantal brugsegmenten:

- Voor heterogene zwerfafvalstroomprofielen blijkt dat de buitenste segmenten vaak meer afwijken van het bruggemiddelde dan het middelste segment
- Over het algemeen neemt de afwijking van de metingen per segment dat toegevoegd wordt met 10% af, behalve bij het verhogen van 1 naar 2 segmenten, dan is de afwijkingsdaling 20%

Door te besluiten welke mate van afwijking toegestaan is kan met behulp van **Figuur 3** bepaald worden hoeveel brugsegmenten daarvoor gemeten moeten worden. Het feit dat de trends van de drie bruggen met 6 segmenten sterk op elkaar lijken suggereert dat de gevonden trends ook toepasbaar zijn op andere bruggen, maar dit kunnen we niet garanderen. In het huidige monitoringsprogramma zijn nog twee bruggen met 5 segmenten (de Snelbinder en de Keizersveerbrug), nog 2 bruggen met 4 segmenten (de Spijkenisserbrug en de Andrej Sacharovbrug), en nog een brug met 6 segmenten (de Merwedeburg).

Voor het bepalen van een passend aantal brugsegmenten moet met twee aspecten rekening gehouden worden, namelijk de waarde van de afwijking (in procentuele of absolute item aantallen) en de heterogeniteit tussen individuele segmenten. Locaties met hoge ruimtelijke variaties vereisen een hoger aantal brugsegmenten dan locaties met een meer homogene zwerfafvalstroomprofiel. Het meten van minder segmenten zou voor een aantal bruggen kunnen resulteren in dezelfde gemiddelde zwerfafvalstroom dan met meer segmenten, maar het inzicht over de ruimtelijke variatie gaat daarmee (deels) verloren. Bovendien is er een sterke relatie met hoe lang elk segment gemeten wordt. Bij korte meetduren is veel segmenten meten minder tijdrovend dan bij langere meetduren. Om een goed afweging tussen representativiteit en inspanning te maken moet dan ook de link gelegd worden met het tijdsresolutie-experiment.

Bijlage 3

ONDERWERP

Memo onderzoeksresultaten van het itemgrootte-experiment

PROJECTNUMMER

30120165

DATUM

9 september 2022

VAN

Yvette Mellink
 Tim van Emmerik
 Simone van Langen
 Anne de Weme

AAN

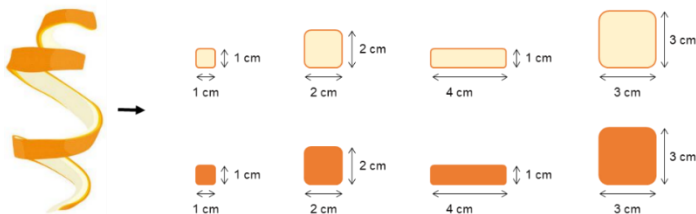
Projectgroep Monitoring Drijvend Zwerfafval

Inleiding

Drijvend zwerfafval in rivieren heeft talloze maten, kleuren, en vormen. Het WUR meetprotocol dat gebruikt wordt voor het monitoren van drijvend zwerfafval in rivieren is gebaseerd op een visuele waarnemingstechniek vanaf bruggen. Om te bepalen welk aandeel van de totale drijvende zwerfafvalstroom gemonitord wordt met deze techniek, is het onder meer noodzaak om vast te stellen wat de kenmerken (minimale grootte, vorm, kleur) zijn van items die op deze manier kunnen worden waargenomen. Het mandarijn-experiment is ontworpen om de minimale waarneembare item grootte te vinden en te testen of de waarneembaarheid van items afhangt van (1) de brughoogte, (2) de kleur van het item, (3) de vorm van het item, en (4) de waarnemer. Daarnaast is ook getest of het gebruik van een verrekijker de waarneembaarheid van items verhoogt. Deze memo beschrijft de methodiek, de resultaten en de conclusies van het mandarijn-experiment.

Beschrijving methodiek

Allereerst zijn sinaasappelschillen in stukjes geknipt in de volgende maten: 1x1 cm, 2x2 cm, 1x4 cm, en 3x3 cm. Er zijn twee item kleuren: oranje (de buitenkant van de schil) en wit (de binnenkant van de schil). Er zijn twee vormen: vierkant en rechthoekig. Door twee vormen te maken met dezelfde oppervlakte, de 2x2 cm en 1x4 cm, kon de invloed van de vorm op de waarneembaarheid onafhankelijk getest worden. **Figuur 1** geeft een overzicht van alle maten, vormen en kleuren die getest zijn.

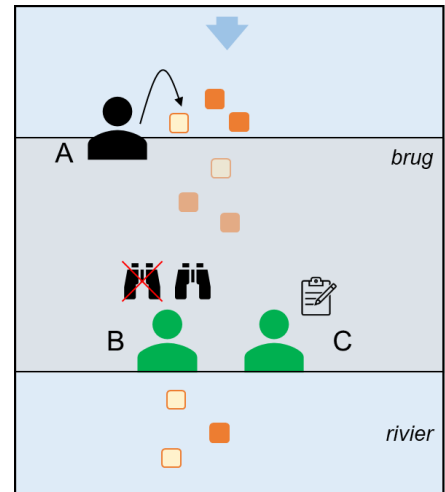


Figuur 1. Overzicht van alle maten, vormen, en kleuren van de sinaasappelschilstukjes die getest zijn op hun waarneembaarheid in het experiment.

Het experiment is door drie personen uitgevoerd. **Figuur 2** laat een schematisch bovenaanzicht van de opstelling op de brug zien. Eerst werd er met een teststukje vastgesteld hoe lang een stukje erover deed om onder de brug door te drijven. Deze tijd werd verdubbeld en aangehouden als tijd tussen de experimenten. Voor elk experiment wierp persoon A 10 stukjes van een afmeting (**Figuur 1**) in de rivier vanaf de stroomopwaarts kant van de brug. Persoon A noteerde daarbij het aantal stukjes dat met de oranje en

witte kant omhoog op het wateroppervlak terecht kwam. Dit was niet te beïnvloeden en bleek achteraf rond de 50/50 te liggen. Aan de benedenstroomse kant van de brug telde de waarnemer (persoon B), zonder verrekijker, hoeveel oranje en witte stukjes er voorbij dreven en gaf dat door aan persoon C, die dit noteerde. Na een paar minuten rust wierp persoon A 10 nieuwe stukjes van dezelfde afmetingen in de rivier, maar dit keer gebruikte de waarnemer (persoon B) wél een verrekijker. Dit werd herhaald voor alle vier de afmetingen van de stukjes. Vervolgens rouleerden we door en herhaalde de gehele procedure, zodat iedereen een keer elke rol had uitgevoerd.

Het mandarijn-experiment is op 2 augustus 2022 uitgevoerd op de Stadsbrug (Kampen) en de Merwedebrug (Gorinchem). De Stadsbrug heeft een gemiddelde hoogte van 5,4 m boven het wateroppervlak en de Merwedebrug van 15,2 m. Deze bruggen zijn gekozen omdat dit respectievelijk de laagste en de op een na hoogste brug in het monitoringsprogramma zijn. De hoogste brug in het monitoringsprogramma, de Andrej Sacharovbrug, ligt gemiddeld 20,5 meter boven het wateroppervlak, maar was niet geschikt voor de uitvoering van het mandarijn-experiment, omdat er geen veilige standplaats aan beide zijden van de brug is. Het mandarijn-experiment viel (toevallig) samen met een periode van extreem laag water in de Rijn en IJssel. Hierdoor stond het water 14 cm lager dan normaal bij de Stadsbrug en 37 cm lager dan normaal bij de Merwedebrug. Deze afstanden zijn ten opzichte van de totale hoogtes verwaarloosbaar.

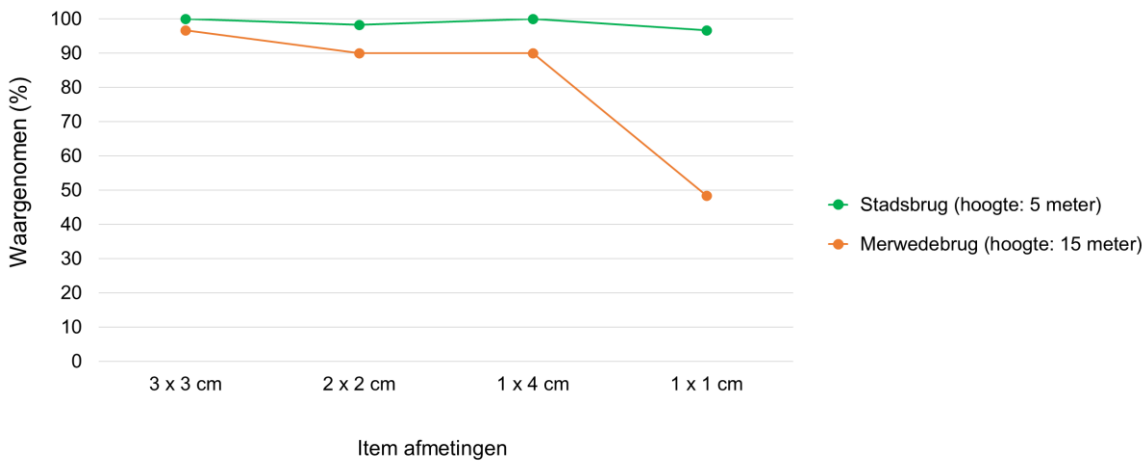


Figuur 2. Schematisch bovenaanzicht van de experimentopstelling op de brug van het mandarijn-experiment. De oranje blokjes stellen de sinaasappelschil stukjes voor.

Resultaten

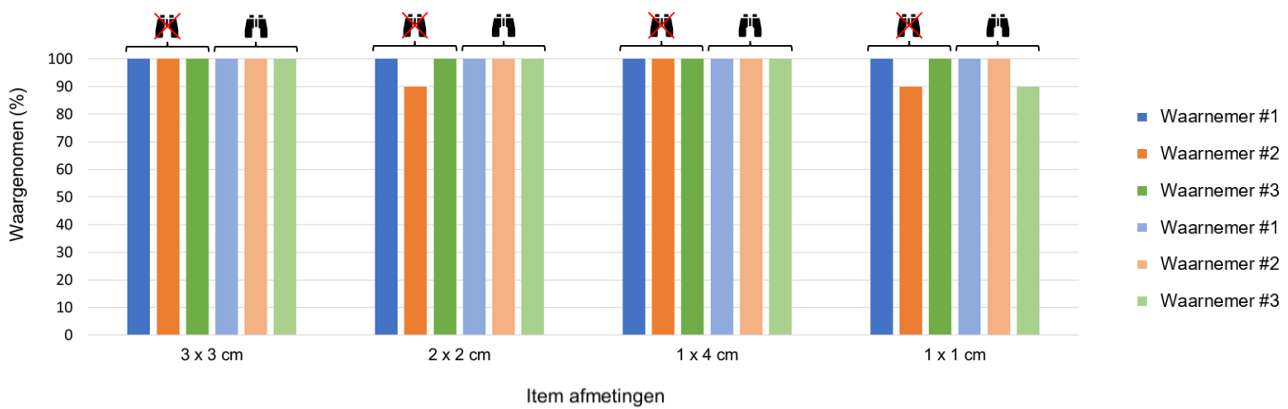
Item afmeting, verrekijker gebruik, en waarnemer

Om de metingen van het mandarijn-experiment te kunnen interpreteren is de volgende definitie van 'goed waarneembaar' aangehouden: $\geq 90\%$ van de items is waargenomen. Op basis van deze definitie kan vastgesteld worden dat de minimale grootte van goed waarneembare items 1 cm^2 is voor een lage brug ($\sim 5 \text{ m}$) en 4 cm^2 voor een hoge brug ($\sim 15 \text{ m}$) (Figuur 3). Op de Stadsbrug zijn, op een enkele uitzondering na, 100% van de items waargenomen ongeacht de waarnemer of het gebruik van een verrekijker (Figuur 4). Alle waarnemers gaven aan de verrekijker niet nodig te hebben. Op de Merwedebrug zijn de 1 cm^2 grootte items niet goed waarneembaar (gemiddeld 53% werd waargenomen zonder en 43% met verrekijker). Een van de waarnemers heeft zelfs geen een van de items waargenomen. Hierbij moet vermeld worden dat deze waarneming als laatst is uitgevoerd bij zwakker (avond)licht rond 19:30. Afgezien van deze uitzondering zijn de verschillen tussen waarnemers klein, of te wel een lage 'observer bias'. Vrijwel 100% van de items van 9 cm^2 zijn op de Merwedebrug waargenomen (Figuur 3). De ondergrens van goed waarneembare items ligt voor de Merwedebrug op 4 cm^2 (ongeacht de vorm, 2×2 of $1 \times 4 \text{ cm}$). Vergeleken met de Stadsbrug, zijn er voor de Merwedebrug wel verschillen aan te wijzen tussen de metingen met en zonder verrekijker. Het gebruik van een verrekijker leidt in drie gevallen tot een hoger aantal waargenomen items, in vier gevallen tot een lager aantal waargenomen items, en in vijf gevallen geeft het geen verschil (Figuur 4). De verrekijker werd doorgaans niet gebruikt om het wateroppervlak te scannen, maar om een item te 'checken'. Dit betekent dat als de waarnemer een item in eerste instantie al niet met het blote oog ziet, de verrekijker er ook niet bij gepakt wordt.

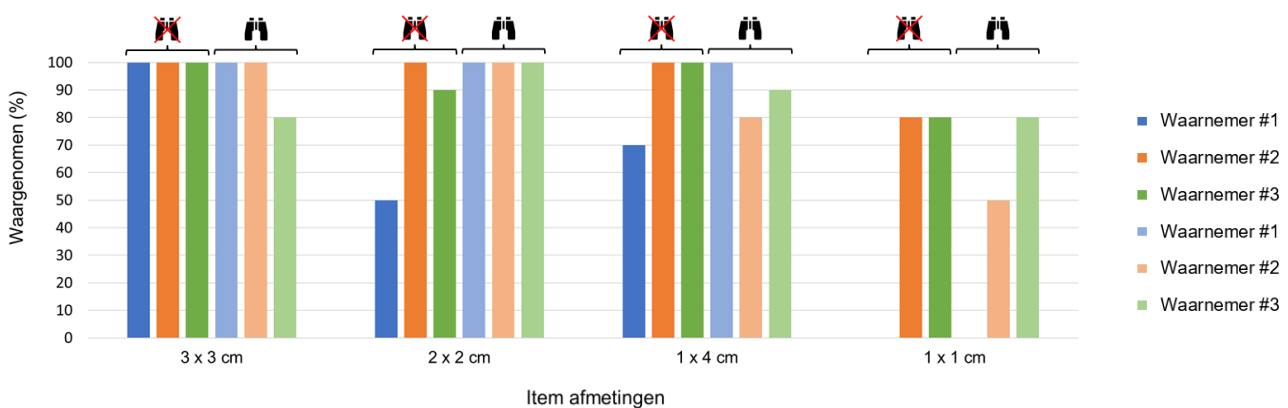


Figuur 3. Het percentage items dat is waargenomen voor elk van de vier item afmetingen voor de Stadsbrug en de Merwedebrug. (a)

Stadsbrug (hoogte: 5 meter)



(b) **Merwedebrug (hoogte: 15 meter)**



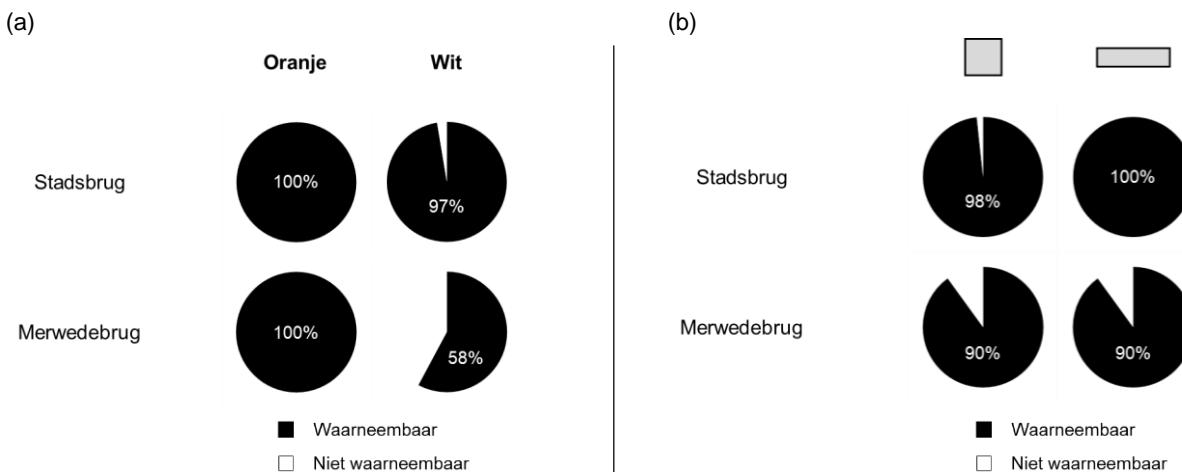
Figuur 4. Het percentage waargenomen items door de drie verschillende waarnemers, met en zonder verrekijker, voor de vier item groottes. (a) Metingen op de Stadsbrug (gemiddelde afstand tussen wateroppervlak en brug: 5 m). (b) Metingen op de Merwedebrug (gemiddelde afstand tussen wateroppervlak en brug: 15 m).

Item kleur

De waarneembaarheid van drijvende zwerfafvalitems blijkt vooral op hoge bruggen ook van de kleur van het item af te hangen. In **Figuur 5a** staan cirkeldiagrammen die de percentages waargenomen oranje en witte items weergeeft voor beide bruggen. Hiervoor is alle data gecombineerd en wordt er geen onderscheid gemaakt in item grootte, item vorm, de waarnemer, en het gebruik van een verrekijker. Op beide bruggen zijn 100% van de oranje items waargenomen en 97% van de witte op de Stadsbrug en slechts 58% van de witte op de hogere Merwedebrug. Van de witte stukjes waren degene met de afmeting 1x4 cm verruit het meest waargenomen.

Item vorm

Voor items met een oppervlakte van 4 cm² is een vierkante (2x2 cm) en rechthoekige (1x4 cm) vorm getest. In **Figuur 5b** staan cirkeldiagrammen die de percentages waargenomen vierkante en rechthoekige items weergeeft voor beide bruggen. Hiervoor is alle data gecombineerd en wordt er geen onderscheid gemaakt in de waarnemer en het gebruik van een verrekijker. De data wijst uit dat de vorm van het item nauwelijks tot geen invloed heeft op de waarneembaarheid van het item zowel op hoge als op lage bruggen. Op de lage Stadsbrug werden de 98% en 100% van de respectievelijk vierkante en rechthoekige vormen gezien en op de hoge Merwedebrug werd van beide vormen 90% waargenomen.



Figuur 5. (a) Het percentage oranje en witte waargenomen items voor de Stadsbrug en de Merwedebrug. (b) Het percentage vierkante (2x2 cm) en rechthoekige (1x4 cm) waargenomen items voor de Stadsbrug en de Merwedebrug.

Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het mandarijn-experiment was het in kaart brengen van de waarneembaarheid van drijvende zwerfafval items in rivieren tijdens brugtellingen. Om de waarneembaarheid te meten, en in hoeverre deze afhangt van (1) de brughoogte, (2) de kleur van het item, (3) de vorm van het item, (4) de waarnemer, en (5) het gebruik van een verrekijker, zijn stukjes sinaasappelschil met verschillende groottes, kleuren, en vormen in de rivier gebruikt om zwerfafval items na te bootsen.

Aangenomen dat items 'goed waarneembaar' zijn als $\geq 90\%$ van de items wordt waargenomen, kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- de minimale grootte van goed waarneembare items is 1 cm² voor een lage brug (~5 m) en 4 cm² voor een hoge brug (~15 m);
- het gebruik van een verrekijker op een lage brug (~5 m) lijkt overbodig;
- het gebruik van een verrekijker op een hoge brug leidt niet tot een beter resultaat, omdat de verrekijker vooral gebruikt wordt als verificatie van observaties en niet als 'scanner' van het wateroppervlak;
- de kleur van het item heeft de meeste invloed op de waarneembaarheid op hoge bruggen (~15 m), waarbij oranje items beter te zien zijn dan witte;
- de vorm van het item heeft geen invloed op de waarneembaarheid ongeacht de brughoogte.

Dit experiment toont aan dat het WUR meetprotocol een verschillend aandeel van de drijvende zwerfafvalstroom in rivieren monitort afhankelijk van de brughoogte. Items met een oppervlakte tussen de 1 en 4 cm² worden over het algemeen wel op lage bruggen (~5 m) waargenomen en dus meegenomen in de berekeningen van de totale zwerfafval transportstromen, maar niet op hoge bruggen (~15 m). Om de impact van het verschil in het waarneembare itemgrootte bereik tussen lage en hoge bruggen op de totale zwerfafvalstroom te kunnen kwantificeren, moet de itemgrootte verdeling bekend zijn. In andere woorden, we kunnen niet vast stellen welk aandeel van de zwerfafvalstroom gemist wordt op hogere bruggen, zolang we niet weten hoeveel procent van de totale zwerfafvalstroom (gemiddeld) uit items met een oppervlakte tussen de 1 en 4 cm² bestaat.

Voor het kwantificeren van het aantal voorbijrijvende zwerfafval items blijkt uit dit experiment dat over het algemeen het gebruik van een verrekijker geen verschil maakt. Toch adviseren we op basis van de ervaringen van waarnemers het gebruik van verrekijkers, omdat het sterkte vermoeden bestaat dat daarmee de item categorisering verbeterd kan worden. Dit is echter niet in dit experiment meegenomen en zou idealiter nog nader onderzocht moeten worden.

Bijlage 4

ONDERWERP

Memo onderzoeksresultaten van het experiment
 ‘Samenstelling zwerfafval in rivieren en op oevers’

PROJECTNUMMER

30120165

DATUM

31 oktober 2022

VAN

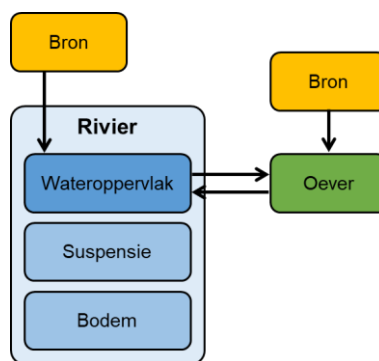
Yvette Mellink
 Tim van Emmerik
 Simone van Langen
 Anne de Weme

AAN

Projectgroep Monitoring Drijvend Zwerfafval

Inleiding

Zwerfafval in het milieu bevindt zich in verschillende compartimenten, bijvoorbeeld drijvend aan het wateroppervlak, in suspensie in de waterkolom, op de rivierbodem, en op de rivieroever (Figuur 1). Het hoofddoel van dit experiment is om te achterhalen of het zwerfafval in verschillende compartimenten dezelfde eigenschappen hebben. Kennis en inzicht in de overeenkomsten en verschillen tussen zwerfafval van verschillende compartimenten kan bijdragen aan het beter begrijpen van de bron(nen) van zwerfafval van verschillende compartimenten en de uitwisseling van zwerfafval tussen verschillende compartimenten. Voor dit experiment is specifiek gekeken naar het drijvende zwerfafval in rivieren en het zwerfafval op oevers, waarbij de focus ligt op het type materiaal en de massa.



Figuur 1. Een aantal van de compartimenten in een riviersysteem waarin zwerfafval zich kan bevinden. De pijlen weergeven (mogelijke) transportstromen van en naar de twee compartimenten waarop dit experiment zich focust: de oevers en het wateroppervlak.

Het experiment bestaat uit twee data-analyses, waarvoor de data op voorhand van dit experiment al beschikbaar was. De oeverdata komt uit van Emmerik & de Lange (2021) en de rivierdata komt uit Vriend et al. (2020). De eerste data-analyse focust op de materiaalsamenstelling van zwerfafval op rivieroevers en drijvend zwerfafval in de rivier. Door de materiaalsamenstellingen van het drijvende zwerfafval en het zwerfafval op de oevers te vergelijken kan gekeken worden of het type zwerfafval dat op de oevers ligt representatief is voor het type afval dat in de rivier drijft. De tweede data-analyse focust op de massa van zwerfafval op rivieroevers en drijvend zwerfafval in de rivier. Door de massastatistieken van het zwerfafval op de oevers te vergelijken met die van het drijvende zwerfafval kan gekeken worden of de massa van zwerfafval dat op de oevers ligt representatief is voor de massa zwerfafval dat in

de rivier drijft. Op dit moment wordt bijvoorbeeld de massadata van zwerfafval items gevonden op oevers gebruikt om een inschatting te maken van het massatransport van drijvend zwerfafval in de rivier. Indien uit dit experiment blijkt dat het zwerfafval op de oever niet representatief is voor het drijvende zwerfafval in de rivier, dan moet heroverwogen worden of de massadata van zwerfafval gebruikt kan worden om een correcte inschatting te maken van het massatransport van drijvend zwerfafval in de rivier.

Deze memo beschrijft de methode, de resultaten, en de conclusies van de twee data-analyses en sluit af met een aantal aanbevelingen ten aanzien van het combineren van zwerfafval gerelateerde data van de rivieroever en wateroppervlak compartimenten.

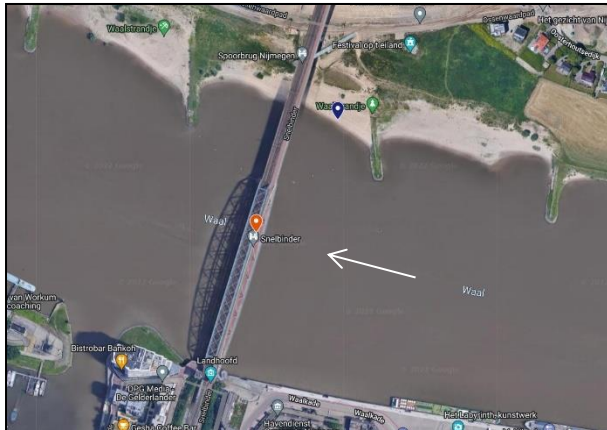
Methodiek

Data-analyse 1 – samenstelling zwerfafval in de rivier en op oevers

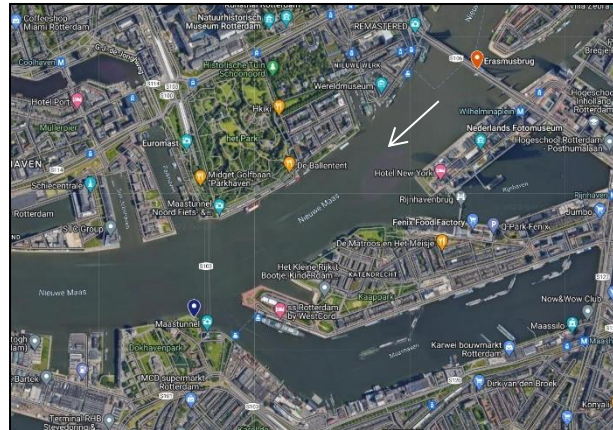
Voor dit experiment is de samenstelling van de drijvende zwerfafvalstroom dat is waargenomen op een brug vergeleken met de samenstelling van het zwerfafval op een oever vlakbij diezelfde brug. Het doel van deze vergelijking is om erachter te komen of de samenstelling van het zwerfafval op oevers overeenkomt met de samenstelling van het zwerfafval dat in de rivieren drijft. Indien de samenstellingen sterk overeenkomen, dan zou de materiaalsamenstelling van zwerfafval op oevers als representatief beschouwt kunnen worden voor de drijvende zwerfafvalstroom in rivieren. Bovendien zou dat er ook op kunnen wijzen dat zwerfafval op de oever en in de rivier overeenkomstige bron(nen) hebben en dat er uitwisseling van zwerfafval tussen oever en wateroppervlak plaats vindt (Figuur 1).

De velddata van de brugmetingen en oevermetingen die tijdens het Pilot Project in januari t/m december 2021 uitgevoerd zijn (van Emmerik & de Lange, 2021) zijn gebruikt voor de data-analyse. In dat Pilot Project zijn in totaal acht bruggen en acht rivieroeveren in Nederland gemonitord. Van deze acht locaties zijn de volgende zes locaties geselecteerd voor dit experiment: de Snelbinder (Nijmegen) en de Erasmusbrug (Rotterdam) over de Rijn, de Westervoortse Brug (Westervoort) en de Stadsbrug (Kampen) over de IJssel, en de Sint Servaasbrug (Maastricht) en de Maasbrug (Ravenstein) over de Maas (Figuur 2 en 3). Deze locaties zijn gekozen omdat de oevers ervan elke maand in 2021 gemonitord zijn en seizoensvariabiliteit meegenomen wordt. Daarnaast zijn dit ook de locaties die in de huidige drijvend zwerfafval in rivieren monitoringcampagne zijn opgenomen. De samenstelling van de drijvende zwerfafvalstroom is bepaald op basis van de brugmetingen waarbij de 16 materiaal categorieën in Tabel 1 gebruikt zijn (Seibert et al., 2019; SPOTTERON GmbH, 2019; van Emmerik et al., 2020a). De database met drijvende zwerfafval items waargenomen vanaf de zes bovengenoemde bruggen in de periode januari t/m december 2021, bestaat uit 513 items. De samenstelling van zwerfafval op rivieroeveren is bepaald op basis van de oevermetingen waarbij de 110 categorieën van het Rivier-OSPAR protocol gebruikt zijn (van Emmerik et al., 2020b). Om de samenstelling van het drijvende zwerfafval en het zwerfafval op de oever met elkaar te kunnen vergelijken is de vertalingstabel, die door van Emmerik et al. (2022) ontwikkeld is, gebruikt. Deze vertalingstabel is opgenomen in Bijlage 1. De categorie 'Overig niet-plastic' heeft geen equivalent in de Rivier-OSPAR categorisering, daarom is die categorie niet meegenomen. Ook pellets (gevonden op de oevers) zijn niet in de analyse meegenomen, omdat pellets niet vanaf bruggen waargenomen worden.

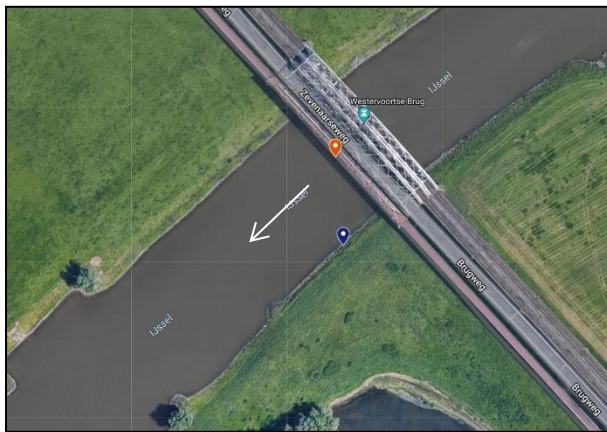
Voor elke locatie is eerst het totaal aantal waargenomen drijvende zwerfafvalitems berekend. In deze berekening zijn de daadwerkelijk getelde aantallen gebruikt en niet de geëxtrapoleerde aantallen voor de totale rivierbreedte. Vervolgens is het aandeel van elke categorie in Tabel 1 (behalve 'Overig niet-plastic') ten opzichte van het totaal aantal waargenomen drijvende zwerfafvalitems, berekend. De brugmetingen van alle maanden zijn bij elkaar genomen, als gevolg worden temporele variaties niet in acht genomen in deze data-analyse. Voor elke locatie is ook het totaal aantal zwerfafvalitems dat op de nabij gelegen oever in de periode januari t/m december 2021 (de oever bij de Sint Servaasbrug is niet bemonsterd in januari) verzameld is, berekend. Voor deze berekening zijn de daadwerkelijk getelde aantallen gebruikt en niet de (genormaliseerde) dichtheid uitgedrukt in aantal items per oppervlakte eenheid. Vervolgens is het aandeel van elke categorie in Tabel 1 (behalve 'Overig niet-plastic') ten opzichte van het totaal aantal verzamelde oeverzwerfafval items, berekend. De oevermetingen van alle maanden zijn bij elkaar genomen, als gevolg worden temporele variaties niet in acht genomen in deze data-analyse.



Snelbinder (Nijmegen)



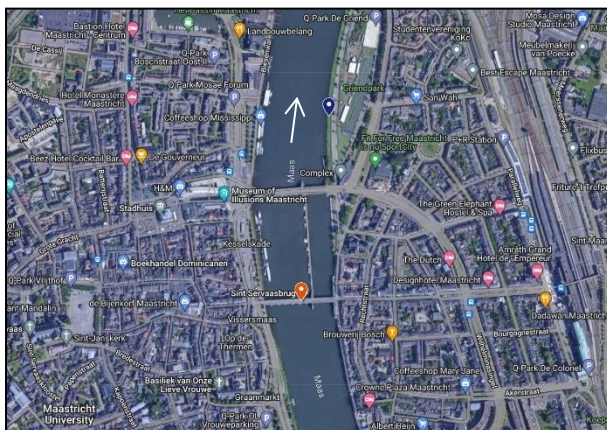
Erasmusbrug (Rotterdam)



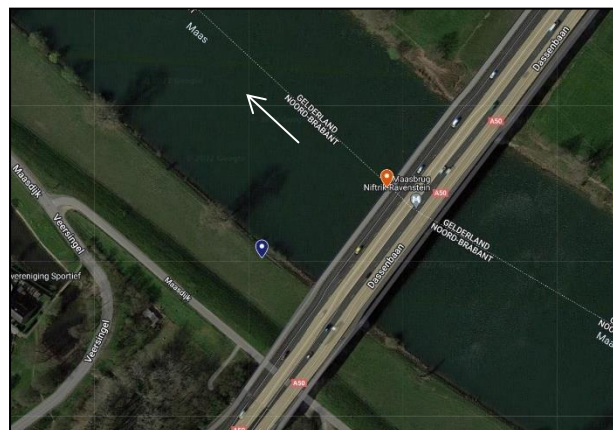
Westervoortse Brug (Westervoort)





Stadsbrug (Kampen)



Sint Servaasbrug (Maastricht)



Maasbrug (Ravenstein)

-  Brug
-  Oever

Figuur 3. Satellietbeelden van de zes bruggen en de bijbehorende oevers waarvan de data gebruikt is voor het experiment 'Samenstelling zwerfafval in rivieren en op oevers'. Deze beelden laten zien waar de gemonitorde oevers ten opzichte van de gemonitorde bruggen liggen. De witte pijlen geven de stroomrichting aan.

Data-analyse 2 – massa zwerfafval

In deze data-analyse is onderzocht of de massa van een zwerfafval item in de rivier overeenkomt met de massa van een zelfde soort zwerfafval item op de oever. Het doel van deze vergelijking is om erachter te komen of de massa van het zwerfafval op oevers overeenkomt met de massa van het zwerfafval dat in de rivieren drijft. Indien de massa's sterk overeenkomen, dan zou de massa van zwerfafval op oevers gebruikt kunnen worden om de massa van de drijvende zwerfafvalstroom in rivieren in te schatten.

Voor de massa's van de drijvende zwerfafval items is de dataset van Vriend et al. (2020) gebruikt. Deze dataset bestaat uit 508 zwerfafval items die met een invangstelsel voor drijvend zwerfafval (genaamd Shoreliner) in de Lekhaven in Rotterdam verzameld zijn. Deze 508 items zijn gecategoriseerd in plastic, organisch, en overig. De plastic items zijn nog verder onderverdeeld in de plastic categorieën die in Tabel 1 staan.

Voor de massa's van zwerfafvalitems op oevers is de data gebruikt van de oevermetingen die tijdens het Pilot Project in januari t/m december 2021 uitgevoerd zijn (van Emmerik & de Lange, 2021). In het Pilot Project zijn bijna 14.000 zwerfafvalitems op acht oevers in Nederland verzameld. Dit zijn de zes oevers weergegeven in Figuur 2 en daarnaast een oever vlak naast de Moerdijkbrug (Moerdijk) over het Hollands Diep, en een oever vlak naast de Andrej Sacharovbrug (Arnhem) over de Nederrijn. De oevermetingen vonden plaats in de maanden januari t/m december 2021 waarin voor acht maanden (januari t/m mei, augustus, november en december) de Rivier-OSPAR categorie en de massa gedocumenteerd is. Met behulp van de vertalingstabel (Bijlage 1) zijn eerst de Rivier-OSPAR categorieën van de oever zwerfafvalitems omgezet naar de 15 categorieën die op de brug gebruikt worden (Tabel 1). Vervolgens is per categorie de gemiddelde massa berekend (pellets zijn niet in de analyse meegenomen). Door de data van alle maanden en alle acht rivieroevers bij elkaar te nemen worden temporele en ruimtelijke variaties in de massa van zwerfafvalitems niet in acht genomen.

Resultaten

Data-analyse 1 – samenstelling zwerfafval

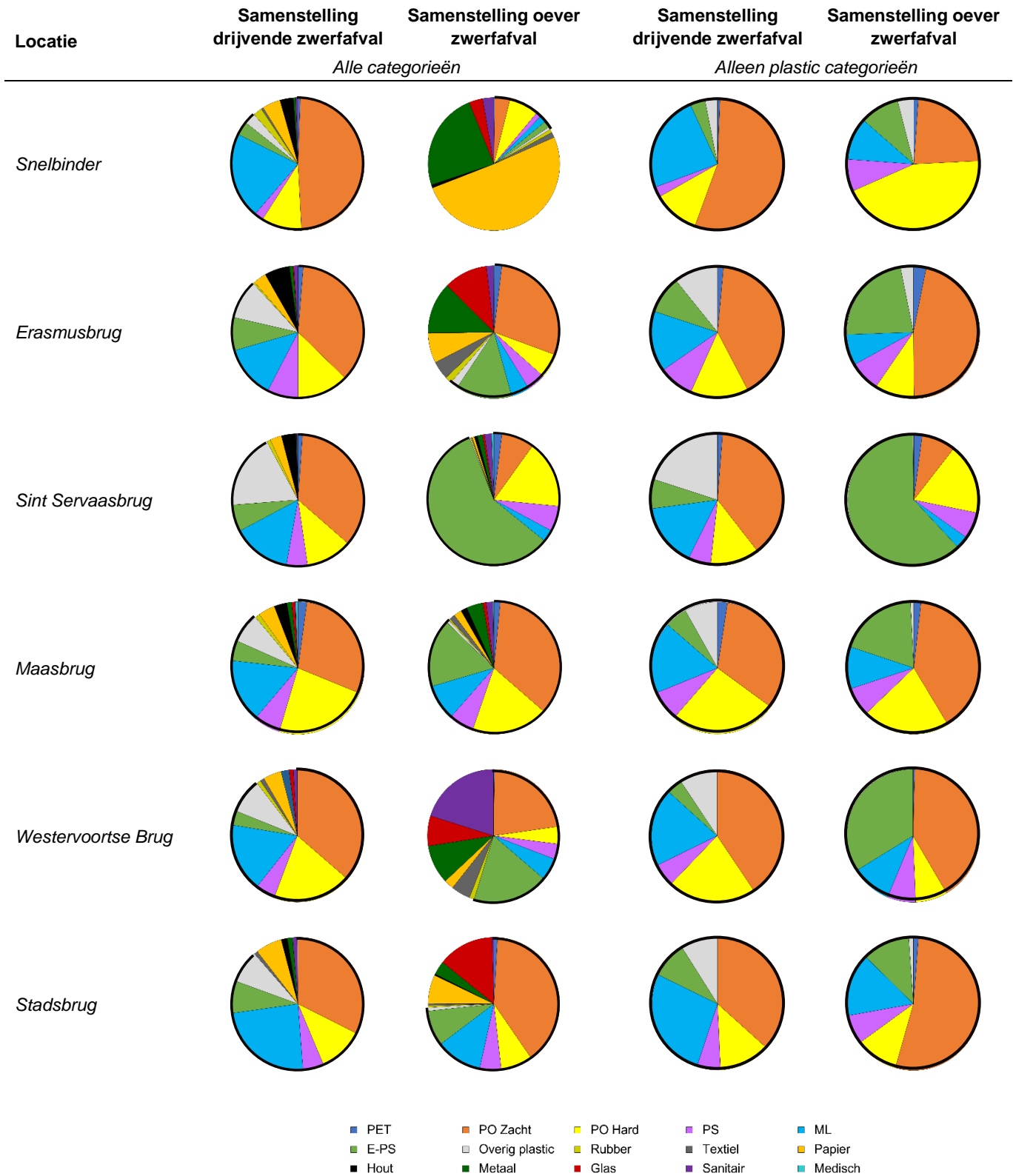
De samenstellingen van het drijvend zwerfafval, gemeten vanaf de zes bruggen, en van het zwerfafval dat is verzameld op de nabij gelegen oevers, staan weergegeven in cirkeldiagrammen in Figuur 4.

De samenstelling van het drijvend zwerfafval in de rivier is redelijk gelijk voor alle zes bruggen. Op elke brug is het aandeel plastic rond de 90% en de meest voorkomende categorie is PO zacht, gevolgd door ML (meerdere laags voedselverpakkingen) en PO hard. De samenstelling van het zwerfafval op de oevers daarentegen, vertoont een hoge mate van variatie tussen de zes locaties. Wanneer de bruggen en hun bijbehorende oevers met elkaar vergeleken worden, dan blijkt dat alleen voor de bruggen over de Maas (Sint Servaasbrug en Maasbrug) het aandeel plastic op de oever, net als in de rivier, rond de 90% ligt. Voor de locaties aan de Rijn en IJssel is het aandeel plastic op de oever lager dan drijvend in de rivier. Op vier van de zes oevers is de meest voorkomende categorie, net als in de rivier, PO zacht. Op de oever bij de Snelbinder, het 'Waalstrandje', is de meest voorkomende categorie papier (51%) gevolgd door metaal (24%). De papieren zwerfafvalitems op het 'Waalstrandje' zijn voornamelijk sigarettenpeuken en de metalen items zijn voornamelijk bier/frisdrank blikjes. Deze items worden veelal gevonden op oevers waar veel gerecreëerd wordt, zoals op het 'Waalstrandje'.

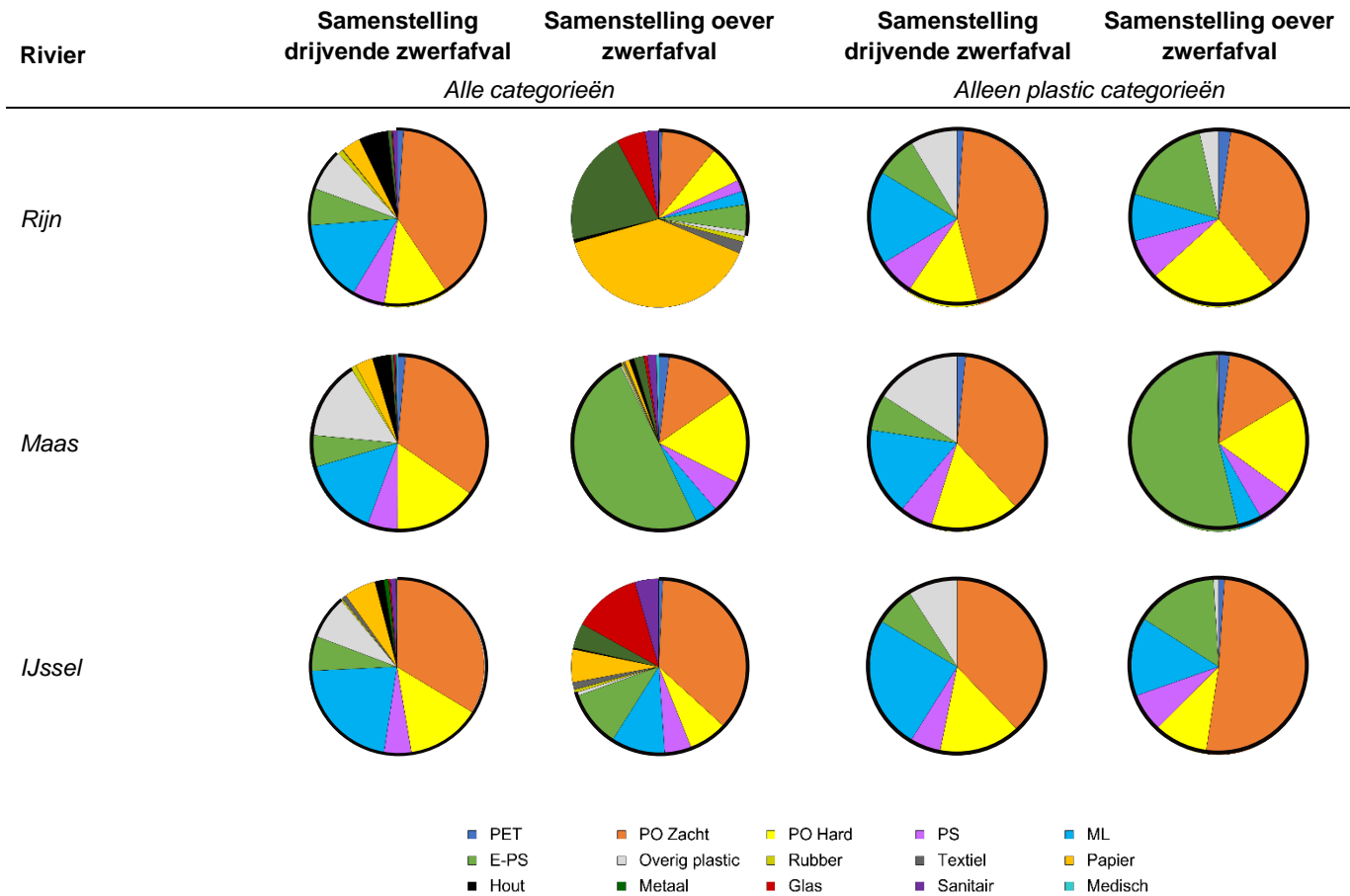
We zien dat items van bepaalde materiaal categorieën meer op de oever dan in de rivier voorkomen. Voorbeelden van dit soort materiaal categorieën zijn 'metaal', 'sanitair', en 'textiel'. Mogelijke verklaringen hiervoor liggen in verschillen in de (1) bron van het afval, (2), het drijfvermogen van het afval (3) de transportmechanismen, (4) en de meetmethode. Onder de categorie metaal vallen o.a. drankblikjes, maar ook stukken oud ijzer. Oud ijzer wordt vaak (illegaal) direct op oevers gedumpt/achtergelaten en heeft een zeer laag drijfvermogen. Oud ijzer in de schuift hoogstwaarschijnlijk langzaam over de rivierbodem. De brugtelmethode is niet in staat om afval op de rivierbodem te observeren. Een ander voorbeeld is 'sanitair', een categorie dat ook meer op de oevers dan in drijvend in de rivier waargenomen wordt. Dit komt hoogstwaarschijnlijk doordat sanitaire items lastiger vanaf bruggen te herkennen zijn dan op oevers. De drijvende zwerfafvalitems moeten namelijk in korte tijd (enkele seconden) en op grote afstand (~5-15 meter) waargenomen en gecategoriseerd worden vanaf een brug. Waarschijnlijk worden dit soort items daardoor vaker aan de categorie 'overig plastic' of 'overig niet-plastic' toegeschreven op de brug. Dit is terug te zien in de cirkeldiagrammen in de twee rechter kolommen in Figuur 4, die laten zien dat het aandeel 'overig plastic' in rivieren groter is dan op de oevers. Deze voorbeelden laten zien dat de verklaring voor het meer of minder voorkomen van bepaalde materiaaltypen vaak een combinatie is van verschillen in bron, drijfvermogen, transportmechanisme, en meetmethode.

Als we verder inzoomen op de samenstelling van het plastic in rivieren en oevers (twee rechter kolommen in Figuur 3) dan vinden we dat voor op elke locatie het aandeel PET en PS in de rivier vrijwel gelijk is aan het aandeel op de oever. E-PS items komen op alle locaties meer voor op de oever dan in de rivier. De multilayers (ML, meerdere laagjes voedselverpakkingen) komen juist meer voor in de rivier dan op de oever. Afgezien dat PO zacht zowel op de oever als in de rivier vaak het meest voorkomende item categorie is, kan geen algemene relatie tussen rivier en oever vast gesteld worden. Op sommige locaties is het aandeel PO zacht hoger in de rivier dan op de oever (bijvoorbeeld bij de Snelbinder) en op andere locaties is het juist andersom (bijvoorbeeld bij de Stadsbrug). Ook voor PO hard is geen algemene relatie tussen rivier en oever aan te wijzen. Het blijft lastig om op basis van deze bevindingen te kunnen concluderen of er veel uitwisseling plaatsvindt tussen plastic zwerfafval op oevers en in rivieren. Het kan zijn dat E-PS een andere bron heeft en vooral in de rivier gedumpt wordt en niet op de oever, maar het zou ook zo kunnen zijn dat E-PS ook veel op de oevers gedumpt wordt en door het hoge drijfvermogen gemakkelijk van het oever compartiment naar het wateroppervlak compartiment getransporteerd wordt (Figuur 1).

In Figuur 5 is de samenstellingsdata van de locaties langs dezelfde rivier samengenomen. Hieruit blijkt opnieuw dat de samenstelling van de drijvende zwerfafvalstroom niet zo sterk varieert tussen de Rijn, Maas, en IJssel. Terwijl de samenstelling van het zwerfafval op de oevers wel sterk varieert tussen deze rivieren. De samenstellingen van alleen de plastic categorieën zijn voor de Rijn en IJssel vergelijkbaar tussen de rivier en de oever. De drijvende zwerfafvalstroom in de Maas lijkt op die van de Rijn en IJssel, maar komt niet overeen met wat er op de oevers langs de Maas gevonden wordt. Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt doordat er meer E-PS op de oevers gevonden wordt dan in de rivier.



Figuur 4. Samenstelling van het zwerfafval dat in de rivieren drijft (gemeten vanaf bruggen) en wat op de oevers ligt voor de zes locaties. De zwarte verdikte omlijning omvat alle plastic categorieën.



Figuur 5. Samenstelling van het zwerfafval dat in de rivieren drijft (gemeten vanaf bruggen) en wat op de oevers ligt voor de Rijn, Maas, en IJssel rivieren. Voor de Rijn is de data van de Snelbinder en de Erasmusbrug samengenomen. Voor de Maas is de data van de Sint Servaasbrug en de Maasbrug samengenomen. Voor de IJssel is de data van de Westervoortse Brug en de Stadsbrug samengenomen. De zwarte verdikte omlijning omvat alle plastic categorieën.

Data-analyse 2 – massa zwerfafval

In de dataset van Vriend et al. (2020) zijn alleen drijvende items in de rivier gevonden van de plastic categorieën PET, PO zacht, PO hard, PS, E-PS, en overig plastic (geen ML). In de dataset van de Pilot Meting (van Emmerik & de Lange, 2021) zijn bijna 14000 zwerfafvalitems van oevers langs de Rijn, Maas, en IJssel verzameld. De gemiddelde massa's van de rivier- en oeveritems staan per categorie in Tabel 2.

Deze data-analyse laat zien dat voor de meeste categorieën de massa's voor oeveritems hoger is dan voor items drijvend in de rivier. Een PET item op een oever weegt bijvoorbeeld gemiddeld meer dan een PET item drijvend in de rivier. Ook voor PO zacht, PS en vooral voor de categorie 'overig plastic' zijn de gemiddelde massa's gebaseerd op drijvende items lager dan gebaseerd op wat er op de oevers gevonden is. Alleen voor items in de categorie PO hard en E-PS komen de gemiddelde massa's overeen. Dit betekent dat voor het uitdrukken van de drijvende zwerfafvalstroom in massa per tijdseenheid, niet simpelweg de gemiddelde massa's van oeveritems gebruikt kunnen worden (behalve voor PO hard en E-PS). Bovendien zijn voor categorieën waar veel verschillende soorten items onder vallen de gemiddelde massa's minder representatief. Bijvoorbeeld in de berekening van de gemiddelde massa voor metaal is ook het gewicht van zware stukken oud ijzer meegenomen. De gemiddelde massa van metaal, 48 gram, is daardoor niet zo representatief voor de massa van bijvoorbeeld een leeg metalen frisdrank blikje (weegt gemiddeld rond de 10 gram). Dit maakt dat de gemiddelde massa's van oeveritems niet geschikt is voor het inschatten van de massa van drijvende items in de rivier.

Tabel 2. De gemiddelde massa (gram), de mediaan massa (gram), en de standaard afwijking, en het aantal items waar de berekening op gebaseerd is per materiaal categorie. De gemiddelde massa's van de oeveritems zijn berekend op basis van de oevermetingen van de Pilot Meting (van Emmerik & de Lange, 2021). De massa's van rivieritems zijn berekend op basis van de drijvend items die verzameld zijn door de Shoreliner (Vriend et al., 2020). Licht oranje/groen gemarkeerde cellen laten zien voor welke materiaal categorieën het verschil in de gemiddelde massa van zwerfafval op de oever en de brug meer/minder dan 1 gram van elkaar verschillen.

Categorie	Zwerfafval op de oever				Drijvend zwerfafval in de rivier			
	Gemiddelde massa (gram)	Mediaan massa (gram)	Standaard afwijking	Gebaseerd op ... aantal items	Gemiddelde massa (gram)	Mediaan massa (gram)	Standaard afwijking	Gebaseerd op ... aantal items
PET	48.7	25.0	105.6	161	21.7	19.9	8.8	10
PO Zacht	7.1	0.5	53.2	2719	0.4	0.1	0.8	188
PO Hard	7.0	0.6	47.0	1954	7.8	0.9	43.3	144
PS	5.6	1.5	22.1	692	0.9	0.3	1.6	34
ML	1.5	0.2	10.9	942	-	-	-	-
E-PS	1.6	0.4	17.6	3598	1.4	0.3	3.4	99
Overig plastic	129.5	22.0	351.8	73	7.1	0.3	18.8	33
Rubber	125.4	3.9	310.7	65	-	-	-	-
Textiel	164.2	16.8	580.6	137	-	-	-	-
Papier	1.5	0.6	5.6	1502	-	-	-	-
Hout	213.6	7.7	609.0	80	-	-	-	-
Metaal	48.4	2.5	297.0	1102	-	-	-	-
Glas	32.7	6.0	77.8	525	-	-	-	-
Sanitair	8.4	4.3	12.3	289	-	-	-	-
Medisch	4.3	1.8	8.5	30	-	-	-	-

Conclusies en aanbevelingen

Op basis van data-analyse 1, waarin de samenstelling van drijvend zwerfafval in de rivier vergeleken is met de samenstelling van zwerfafval op rivieroever, trekken we de volgende conclusies:

- de samenstelling van het drijvend zwerfafval in de rivier redelijk gelijk is voor alle zes bruggen, maar varieert sterk tussen de verschillende oevers
- het aandeel plastic in rivieren ligt rond de 90% (voor alle locaties), voor de oevers langs de Maas is dit ook 90%, maar voor de oevers langs de Rijn en IJssel is het aandeel plastic lager dan in de rivier
- het meest voorkomende item in de rivier, PO zacht, is op de helft van de locaties ook het meest voorkomende item op de nabij gelegen oever
- Bepaalde item categorieën komen op de oevers meer voor dan in de rivier, voorbeelden hiervan zijn metaal, glas, en sanitair
- Binnen de plastic categorieën komen PET en PS evenveel in de rivier als op de oever voor, komt E-PS meer op de oever voor, komt ML meer in de rivier dan op de oever voor, en kan voor PO zacht en PO hard geen duidelijke trend vastgesteld worden
- de samenstelling van de drijvende zwerfafvalstroom in de Rijn, Maas, en IJssel is redelijk hetzelfde, maar de samenstelling van het zwerfafval op de oevers varieert sterk tussen deze rivieren.

De verschillen in samenstellingen tussen rivier en oever kunnen veelal verklaard worden door een combinatie van verschillen in bron, drijfvermogen, transportmechanisme, en meetmethode. Op basis van data-analyse 1 concluderen we dat de samenstelling van het zwerfafval op oevers niet representatief is voor de samenstelling van de drijvende zwerfafvalstroom. Daarom adviseren we om de materiaalsamenstellingen van oever afval niet te gebruiken om de samenstelling van drijvend zwerfafval te bepalen. Aangezien de samenstellingen ook sterk variëren tussen verschillende oevers bevelen we aan om op verschillende locaties oevers te bemonsteren, omdat elke oever zijn eigen lokale bron heeft.

Op basis van data-analyse 2, waarin de massa van rivieritems met de massa van oeveritems vergeleken is, kan geconcludeerd worden dat deze massa's voor de meeste categorieën niet met elkaar overeenkomen. Voor het merendeel van de materiaal

categorieën is de gemiddelde massa van drijvend zwerfafval lager dan de gemiddelde massa van afval op de oevers. Dit betekent dat voor het uitdrukken van de drijvende zwerfafvalstroom in massa per tijdseenheid, niet simpelweg de gemiddelde massa's van oeveritems gebruikt kunnen worden. Je zou kunnen overwegen om binnen de 16 materiaal categorieën van Tabel 1 de niet drijvende items eruit te halen. Bijvoorbeeld oud ijzer uit de categorie 'metaal' halen. Maar wij bevelen sterk aan dat de massadataset van Vriend et al. (2020) uitgebreid wordt en dat alleen de gemiddelde massa's op basis van daadwerkelijk uit de rivier weggevangen drijvend zwerfafval gebruikt wordt om een inschatting te maken van het massatransport van drijvend zwerfafval in rivieren. Hiervoor kunnen items gebruikt worden die door wegvang systemen als Catchy en de Shoreliner worden verzameld.

Referenties

van Emmerik, T., de Lange, S. I., Frings, R., Schreyers, L., Aalderink, H., Leusink, J., ... & Vos, V. (2022). Hydrology as driver of floating river plastic transport.

Seibert, J., Strobl, B., Etter, S., Hummer, P., & van Meerveld, H. J. (2019). Virtual staff gauges for crowd-based stream level observations. *Frontiers in Earth Science*, 7, 70.

SPOTTERON GmbH (2019). *SPOTTERON Citizen Science*.

van Emmerik, T., Seibert, J., Strobl, B., Etter, S., Den Oudendammer, T., Rutten, M., ... & van Meerveld, I. (2020a). Crowd-based observations of riverine macroplastic pollution. *Frontiers in earth science*, 8, 298.

van Emmerik, T., Vriend, P., & Roebroek, C. (2020b). An evaluation of the River-OSPAR method for quantifying macrolitter on Dutch riverbanks. *Wageningen, Wageningen University, Report*. 86 pp.

van Emmerik, T. & S. de Lange (2021). *Pilot monitoring drijvend zwerfafval en macroplastics in rivieren*. Wageningen University, Report. 50 pp., <https://doi.org/10.18174/549319>

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, 10.

Bron Figuur 1:

Kaart van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Rijndelta> gepubliceerd onder de *Creative Commons Attribution - Share Alike 2.5 Generic* (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/deed.en>)

Bijlage 1

De vertalingstabel die gebruikt wordt om van de Rivier-OSPAR categorisering naar de categorisering te gaan die gebruikt wordt voor de monitoring van drijvend zwerfval vanaf bruggen.

Rivier-OSPAR ID	Categorie gebruikt op de brug
1	PO zacht
2	PO zacht
3	PO zacht
4.1	PET
4.2	PET
4.3	PO zacht
5	PO hard
6	PS
7	PO hard
9	PO hard
10	PO hard
13	PO hard
14	PO hard
15	PS
16	PO hard
20	PS
21	PS
24	PO zacht
25	PO zacht
113	PO zacht
31	PO zacht
32	PO zacht
35	PO zacht
36	PO hard
38	PO hard
40	PO zacht
42	PO hard
43	PO hard
57	PO hard
117.1	PO hard
46.1	PO hard
46.2	PO zacht
48	Overig plastic
1172	E-PS
462	E-PS
6.1	E-PS
47.1	PO zacht
47.2	PO hard
22.1	PS
19	ML
472	E-PS
212	E-PS
22	PS
481	PO hard
11	PO hard
39	PO hard
19.1	PO hard
8	PO hard
2.1	PO zacht
17	PO hard
35.1	PO zacht
43.1	PO hard
22.1	PS
22.2	PS
38.1	PO hard

39.1	PO zacht
49	Rubber
52	Rubber
53	Rubber
54	Textiel
55	Textiel
44	Textiel
59	Textiel
60	Papier
61	Papier
63	Papier
64	Papier
65	Papier
66	Papier
67	Papier
62.1	Papier
67.1	Papier
68	Hout
69	Hout
72	Hout
73	Hout
74	Hout
75	Hout
81	Metaal
81.1	Metaal
78	Metaal
79	Metaal
83	Metaal
77	Metaal
84	Metaal
88	Metaal
76	Metaal
86	Metaal
80	Metaal
82	Metaal
120	Metaal
89	Metaal
90	Metaal
91	Glas
92	Glas
93	Glas
7	Sanitair
98	PO hard
982	Sanitair
102.2	Sanitair
97	Sanitair
99	Sanitair
18	PO hard
100	Sanitair
102.3	Sanitair
101	PO hard
102	Sanitair
103	ML
104	Medisch
105	Medisch

Bijlage 2

Resultaten tabellen voor de samenstelling van het drijvend zwerfafval en het oever zwerfafval voor de locaties: de Snelbinder (Nijmegen), de Erasmusbrug (Rotterdam), de Westervoortse Brug (Westervoort), de Stadsbrug (Kampen), de Sint Servaasbrug (Maastricht), en de Maasbrug (Ravenstein). Getallen geven het totaal aantal items aan dat waargenomen/verzameld is tijdens de Pilot Meting in de periode januari t/m december 2021.

Drijvende zwerfafval	PET	PO Zacht	PO Hard	PS	ML	E-PS	Overig plastic	Rubber	Textiel	Papier
Westervoortse Brug	0	73	39	10	34	7	17	2	2	9
Stadsbrug	0	150	52	24	111	36	37	0	4	30
Snelbinder	1	88	18	4	38	6	5	4	1	8
Erasmusbrug	6	170	60	36	61	38	45	2	0	15
Sint Servaasbrug	11	349	111	51	142	65	182	9	0	28
Maasbrug	11	149	120	34	80	25	37	6	0	21

Oever zwerfafval	PET	PO Zacht	PO Hard	PS	ML	E-PS	Overig plastic	Rubber	Textiel	Papier
Westervoortse Brug	1	95	18	16	23	78	0	5	20	10
Stadsbrug	15	653	130	88	187	141	14	7	8	116
Snelbinder	6	120	230	40	53	50	21	26	42	1620
Erasmusbrug	22	327	68	52	52	157	22	19	51	83
Sint Servaasbrug	98	397	828	313	149	2897	12	13	9	27
Maasbrug	20	448	243	80	115	216	9	5	18	25