



End-of-pipe maatregelen verwijdering microplastics

Plastics, en in het bijzonder microplastics, zijn een belangrijke bron van vervuiling en er worden daarom nationaal en internationaal een groot aantal initiatieven ontplooid, die tot doel hebben om de hoeveelheid (micro)plastics in het milieu terug te dringen. Dit zijn initiatieven die op verschillende punten in de keten van productie tot verontreiniging ingrijpen, zoals bij de bron, de transitieroutes en de aan het eind van de keten. In deze Deltafact gaat het om de initiatieven die tot doel hebben de (micro)plastics aan het eind van de keten terug te dringen: wanneer de (micro)plastics al in het milieu zijn beland of op het punt staan het milieu te bereiken, zoals bij rioolwaterzuivering.

De effectiviteit en de toepasbaarheid van dergelijke maatregelen zijn in opdracht van het project KIWK Ketenverkenner door Witteveen+Bos onderzocht. Het volledige rapport is beschikbaar onder de volgende link: [de Jong en Mulder, 2021](#).

INHOUD

1. INLEIDING	2
2. HANDELINGSOPTIES	7
3. CONCLUSIE	11
4. BRONNEN EN LINKS	12
5. COLOFON.....	13
6. DISCLAIMER.....	13

1. INLEIDING

Aangezien de bronnen van microplastics erg divers zijn ([Verschoor en de Valk, 2018](#)), vraagt het effectief verminderen van microplasticsverontreiniging een uitgebreide aanpak. Dit begint in principe met het aanpakken van de belangrijkste bronnen, maar zal zich ook moeten uitstrekken over andere bronnen, zodat het eindresultaat een voldoende sterke reductie van de emissie is. Zo'n bronaanpak heeft wel de voorkeur, maar effecten zijn eerst op langere termijn merkbaar. Daarom is bekeken of er ook op korte termijn maatregelen mogelijk zijn, waardoor de uiteindelijke verontreiniging wordt teruggebracht.

Voor de hand liggende maatregelen zijn die van de zogeheten "end-of-pipe" technieken. Dit zijn extra zuiveringsstappen die kunnen worden toegepast op het afvalwater zoals dat de waterzuiveringsinstallaties verlaat. Op basis van literatuuronderzoek is een lijst opgesteld van technieken die de potentie hebben om microplastics effectief uit waterstromen te verwijderen, zonder zelf een grote milieubelasting te veroorzaken. Om deze technieken in het juiste perspectief te plaatsen wordt eerst kort beschreven hoe microplastics in bestaande installaties worden verwijderd.

1.1. Verwijdering microplastics in bestaande installaties

In de huidige rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi) in Nederland worden microplastics al voor een deel verwijderd zonder dat daar speciale technieken voor worden gebruikt. De voorbehandeling op een rwzi verwijdert een groot deel (>40-60 %) van de microplastics in het influent. Een deel wordt in de roostergoed- en zandverwijdering verwijderd en een deel in de voorbezinking

(wanneer aanwezig). Verwijdering van de microplastics vindt vooral plaats door flotatie en bezinking ([STOWA, 2021](#)). Volgens [Sun et al. \(2019\)](#) verwijdert een typische rwzi 90% of meer van de microplastics.

Aanpassingen aan de gebruikte technieken zijn mogelijk, waardoor nog meer microplastics verwijderd worden:

- Contacttijden kunnen verlengd worden waardoor meer plastics zich hechten aan slibvlokken ([Lapointe et al., 2020](#); [STOWA, 2021](#); [Talvitie et al., 2017](#)).
- Het spoelwater kan teruggevoerd worden naar de voorbehandelingsstappen, waar verwijdering van microplastic het meest efficiënt is.
- Daarnaast kunnen chemische hulpmiddelen zoals flocculanten worden toegevoegd.

Hoewel 90 % van de microplastics verwijderd wordt in een conventionele rwzi, is er ook een "kritische" fractie plastics die niet verwijderd wordt. Deze kritische fractie bestaat voornamelijk uit kleine (<100 µm) microplastics en is veelal vezelvormig ([STOWA, 2021](#); [Sun et al., 2019](#)). De inzet van een aanvullende techniek op het effluent (afloop nabezinktanks) zal zich ook moeten richten op de verwijdering van deze kleinste deeltjes.

De technieken voor de end-of-pipe verwijdering van microplastics kunnen opgedeeld worden in filtratietechnieken en flotatietechnieken. Daarnaast zijn enkele technieken opgenomen voor de verwijdering van plastics uit het oppervlaktewater. Verschillende van de opgenomen technieken worden al ingezet op conventionele rwzi's of bij andere waterzuiveringsprocessen. In tabel 1 zijn de technieken samengevat.

Alle geselecteerde technieken zijn nader beoordeeld op de volgende criteria:

- Verwijderingsprestaties ;
- Verwijderingsmechanisme;
- Toepassing op end-of-pipe waterstroom of oppervlaktewater;
- Stand-der-techniek (aangeduid met Technology Readiness Level: TRL);
- Kosten voor toepassing (globaal).

Tabel 1 Geïdentificeerde verwijderingstechnieken microplastics

Hoofdproces	Techniek
Filtratie/zeving (puntbron; effluent)	Microfiltratie Ultrafiltratie Nanofiltratie Omgekeerde osmose Membraanfiltratie GAK-filtratie (granulair actiefkoolbed) Zandfiltratie Diskfilter Doekfilter Fijnzeef
Flotatie (puntbron, effluent)	Dissolved air flotation (DAF) Foam fractionation
Flotatie (oppervlaktewater)	Bubble barrier
Sedimentatie (rwzi, effluent)	Lamellenseparatoren Bezinktanks (voor of nabehandeling)
Afvang/zeving (oppervlaktewater)	Interceptor The Shoreliner Mr. Trashwheels Allseas ClearRivers Trashbooms Seabin

Op basis van de hierboven genoemde criteria en gesprekken met deskundigen op het gebied van waterzuivering zijn er uit de 22 geïdentificeerde methoden acht veelbelovende technieken gekozen (zie [de Jong en Mulder, 2021](#) voor de volledige lijst). Deze zijn in meer detail onderzocht op effectiviteit en toepasbaarheid (zie tabel 2).

Tabel 2 Onderzochte verwijderingstechnieken

Filtratie/zeven (effluent)	Flotatie (effluent)	Oppervlaktewater
Microfiltratie	Dissolved air flotation	Bubble barrier
Ultrafiltratie	(DAF)	ClearRivers
Multimediafiltratie		
Diskfilters		
Fijnzeven		

1.2 End-of-pipe technieken

De voor- en nadelen van de geselecteerde technieken zijn hieronder in afzonderlijke tabellen samengevat. Voor een gedetailleerde beschrijving van de technieken en de voor- en nadelen wordt verwezen naar [de Jong en Mulders \(2021\)](#).

Tabel 3. Voor- en nadelen van de geselecteerde technieken

Technieken voor effluent	Voordelen	Nadelen
<i>Membraanfiltratie (micro- en ultrafiltratie)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Zeer effectief voor verwijderen van de "kritische fractie" (ook van andere particulaire verontreinigingen, zoals bacteriën en virussen) • Geringe omvang 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge kosten van installatie en gebruik • Chemicaliën vereist bij reiniging • Reststroom moeilijk te verwerken
<i>Multimediafiltratie</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Effectief voor deeltjes groter dan 50 µm • Relatief goedkoop • Spoelwater gemakkelijk te behandelen • Geen chemicaliën nodig 	<ul style="list-style-type: none"> • Omvangrijke installatie • Kortsluitstromen in filter • Verwijdering "kritische fractie" (kleinste microplastics) onduidelijk
<i>Diskfiltratie</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Absolute barrière voor deeltjes groter dan 100 µm • Vermoedelijk ook effectief voor "kritische" fractie (< 100 µm) • Toepasbaar bij riooloverstorten • Makkelijk schaalbaar • Geen chemicaliën nodig 	<ul style="list-style-type: none"> • Geen aanvullende verwijdering organische microverontreinigingen • Bij onderhoud aan filterdoek hoge waterdruk met kans op beschadiging – kostbaar onderhoud
<i>Fijnzeven</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Absolute barrière voor deeltjes groter dan 100 µm • Mogelijk ook effectief voor verwijderen van de "kritische fractie" door koeklaagfiltratie • Geen chemicaliën nodig • Mogelijk toepasbaar bij riooloverstorten 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtratie van kleinste deeltjes vergt koekvorming – daarom inefficiënt bij effluent (te weinig particulier materiaal) • Geen aanvullende verwijdering organische microverontreinigingen
<i>Dissolved air flotation (DAF)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Verwijdering van allerlei verontreinigingen, inclusief sommige opgeloste stoffen • Ontlasting biologische zuivering bij gebruik op influent 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoog energieverbruik • Veel chemicaliën vereist • Beperkt effectief voor verwijderen van de kritische fractie
Technieken voor oppervlaktewater	Voordelen	Nadelen
<i>Bellenschermen (Great Bubble barrier)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Effectief voor macroplastics • Relatief goedkoop • Geen belemmering voor vismigratie of scheepvaart 	<ul style="list-style-type: none"> • Verwijdering microplastics onbekend • Duurder in gebruik bij diepe wateren
<i>Plasticvanger en booms (ClearRivers)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Effectief voor macroplastics • Relatief goedkoop 	<ul style="list-style-type: none"> • Geen verwijdering microplastics • Belemmering scheepvaart

2. HANDELINGSOPTIES

Op basis van het uitgevoerde onderzoek zijn een aantal aanbevelingen te formuleren. De huidige stand van zaken betreffende deze technieken en de beperkte beschikbaarheid van operationele kennis en praktijkervaringen zijn en blijven een risico bij de invoering ervan. Mits goed toegepast lijkt emissiereductie echter zeker mogelijk. Wanneer meer literatuur- en praktijkreferenties beschikbaar komen, moeten deze studies worden meegewogen in het maken van definitieve beslissingen, wat naar verwachting zal leiden tot een hogere verwijderingsefficiëntie.

2.1. Vergroten bijdrage van de conventionele processen op de rwzi

Recente rapportages laten zien dat in conventionele rwzi's al een aanzienlijk aandeel van de microplasticsfracties verwijderd wordt via processen als bezinking, drijfslagverwijdering en (invang in) actief-slibprocessen. Vooral voorbezinktanks zijn effectief in de verwijdering van microplastics via drijfslagverwijdering. Het actief-slibproces met nabezinktanks verwijdert ook een belangrijk deel door invanging in slibvlokken en verwijdering van drijfslag en slib over de nabezinktanks. Er zijn aanpassingen in bestaande rwzi's mogelijk die leiden tot een hoger verwijderingsrendement ten aanzien van microplastics. Het verlengen van de (slib)verblijftijd wordt gezien als de effectiefste aanpassing ([STOWA, 2021](#)), daarnaast kunnen de volgende aanpassingen worden overwogen:

- *Verbeteren rejectiewater- en reststroomverwerking*
Op basis van de prestaties van de voorbezinktank en het actief-slibproces met de nabezinktank kan geconcludeerd worden dat de verwijderingsmogelijkheden van microplastics over de rwzi veelbelovend zijn. Toch dient er ook rekening gehouden te worden met de invloed van rejectiewater- en reststromen. De rejectiewaterstromen kunnen de microplastics die in de waterlijn zijn verwijderd, terugvoeren naar de rwzi, waardoor de totale verwijdering over de rwzi beperkt wordt. Inzet van zeeftechnieken op slibstromen en separate afvang van microplastics vanuit slibkoek of roostergoed dienen te worden overwogen. Hiervoor is wel verder toegepast onderzoek nodig.

Indien nageschakelde technieken achter de nabezinktanks worden toegepast, dient rekening te worden gehouden met de spoelwater- of concentraatstromen. Ook deze stromen kunnen afgevangen microplastics bevatten. Filtratiesystemen worden teruggespoeld om afgevangen materiaal uit het filter te verwijderen. Dit spoelwater kan daardoor hoge concentraties microplastics bevatten, omdat de afgevangen microplastics uit het filter worden gespoeld. Studies naar de verwijdering van microplastics in rwzi's wijzen uit dat de voorbehandelingstappen (flotatie en bezinking) het effectiefst microplastics kunnen verwijderen. Spoelwater dient daarom terug te worden gespoeld naar deze voorbehandelingstappen.

- *Toevoegen van (vlok)hulpmiddelen*

Toevoeging van chemische hulpmiddelen zoals coagulanten (metaalzouten) en/of flocculanten (organische polymeren) kan leiden tot een hoger verwijderingsrendement over een rwzi. Toevoeging kan plaatsvinden op de voorbezinktanks, het actief-slibproces of de inlaat van de nabezinktank. Microplastics zullen in de gevormde vlokken hechten waardoor ze makkelijker bezinken of te verwijderen zijn van het wateroppervlak. De toevoegingen kunnen gecombineerd worden met andere doelen; zoals chemische fosfaatverwijdering, verbetering slibbezinkeigenschappen of slibconditionering. Hierbij moet wel bedacht worden dat er extra kosten mee gemoeid zijn en dat de gebruikte chemicaliën op zich nadelen hebben voor het milieu.

2.2. End-of-pipe technieken

De end-of-pipe technieken die hier besproken zijn, zijn veelal doeltreffend bij het verwijderen van microplastics van > 1 à $10 \mu\text{m}$, maar met name multimedia(zand)filtratie, diskfiltratie en fijnzeven zijn het meest efficiënt en effectief; mede door de multifunctionele toepassing in combinatie met verwijdering van zwevende stof en nutriënten.

Voor de definitieve keuze voor een techniek, zal een verdere selectie van de 'best toepasbare' techniek plaats moeten vinden per interventielocatie. Veelal zijn de best toepasbare technieken namelijk locatiespecifiek en te combineren met andere zuiveringsdoelen (extra verwijdering van particulier materiaal en

nutriënten en/of verwijdering van opkomende stoffen zoals microverontreinigingen). Hierbij dienen risico's, kosten, verwijderingsrendement en voordelen ten aanzien van gezondheid en milieu te worden afgewogen. Enkele factoren die hierbij in overweging dienen te worden genomen zullen hieronder kort worden toegelicht.

2.3. Multifunctionaliteit

De bovengenoemde technieken kunnen naast microplastics ook andere verontreinigingen verwijderen. Zwevende stof en nutriënten worden door biologisch actieve filtratie verwijderd. Bovendien kunnen organische microverontreinigingen, zoals medicijnresten en PFAS, worden verwijderd door sorptie op granulair kool of door foam fractionation flotatie.

In end-of-pipe technieken kan het waardevol zijn om in te zetten op multifunctionaliteit. Hierdoor wordt de voetafdruk van de waterzuivering verkleind en is zuivering relatief kosteneffectief. Het kan immers goedkoper zijn om meerdere typen verontreinigingen in één stap te verwijderen, dan dat het is om voor één specifiek type verontreiniging een nieuwe installatie te bouwen (een enkele stap zou de voetafdruk juist vergroten).

Hoewel aan de kleinste deeltjes, de nanoplastics, geen specifieke aandacht is besteed, kan bij handelingsopties de aanwezigheid van nanoplastics in het water in acht worden genomen. Het gedrag van nanoplastics is anders dan die van microplastics. Om ook nanoplastics te verwijderen moet rekening worden gehouden met de noodzaak van membraanfiltratie (ultrafiltratie) en het daaraan gekoppelde elektriciteitsgebruik, reinigingschemicaliën en concentraatstroomverwerking.

2.4. Hulpmiddelen

De inzet van chemische hulpmiddelen als flocculanten bij een end-of-pipe techniek leidt over het algemeen tot een verhoging van het verwijderingsrendement. Echter, ook dan dient rekening te worden gehouden met de eventuele introductie van zware metalen of andere verontreinigingen.

2.5. Gewoven plastic filterdoeken

Filterdoeken van diskfilters en fijnzeven bestaan uit gewoven plastics. Bij reiniging worden deze doeken onder hoge druk afgespoeld. Hierdoor kan schade ontstaan aan de filterdoeken en kunnen mogelijk microplastics vrijkomen van het filterdoek. Deze bron van microplastics dient verder onderzocht te worden en het terugspoelregime en onderhoud zou eventueel moeten worden aangepast om beschadiging van de filterdoeken te minimaliseren.

2.6. Riooloverstort en afstromend hemelwater

Afstromend hemelwater kan een grote bron zijn van microplastic-emissie naar het milieu. Atmosferische depositie en bandenslijtage worden via verhard oppervlak afgevoerd naar het riool. Filtratie door middel van diskfilters wordt gezien als een technisch haalbare techniek om deze waterstroom te behandelen. In de beoordeling van end-of-pipestromen wordt voornamelijk gekeken naar rwzi-effluent, aangezien dit een omvangrijke puntbron is. Naast rwzi-effluent zouden echter ook riooloverstorten en afstromend hemelwater beschouwd moeten worden. Om als doelmatige maatregel in aanmerking te komen, dient wel vooraf aangetoond te zijn dat de specifieke overstort een significante bijdrage in de lozing veroorzaakt.

Lozingen vanuit riooloverstorten zouden eventueel met fijnzeef- of diskfiltratietechnieken behandeld kunnen worden om directe emissie van microplastics via het riool op oppervlaktewater te voorkomen. Deze waterstroom karakteriseert zich als verdund ruw rioolwater, wat alleen incidenteel bij hevige neerslag wordt geloosd. De lozingsplekken zijn vaak afgelegen wat aanvoer van eventuele hulpmiddelen en afvoer van reststromen bemoeilijkt. Tevens dient elektravoorziening aanwezig te zijn. Zowel fijnzeven als diskfiltratie zijn in staat om een groot deel van de aanwezige microplastics te filteren om zo lozing in het milieu te voorkomen. De technieken werken chemicaliënvrij en produceren een kleine reststroom die periodiek afgevoerd moet worden.

2.7. Maatregelen voor oppervlaktewater

Zoals blijkt uit verschillende pilot- en veldtesten zijn voor de verwijdering van macroplastics uit oppervlaktewater verschillende technieken toepasbaar, zoals bellenschermen en plasticvangers. Ze kunnen vooralsnog niet ingezet worden voor het verwijderen van microplastics.

Bij de selectie van oppervlaktewatertechnieken dient rekening te worden gehouden met kosten, verwijderingsrendement, onderhoud en de impact op het milieu. Een bellenscherm zoals van [The Great Bubble Barrier](#) kan worden ingezet op locaties waar geen obstructie van het waterverkeer plaats mag vinden en waar het aandeel niet-drijvende plastics groot wordt geacht.

Beluchting van het water door de luchtinjectie kan bovendien een positief effect hebben op het zuurstofgehalte van het water.

De plasticvanger en booms van [ClearRivers](#) kunnen louter plastic nabij het oppervlak afvangen. Bovendien vormen booms een fysieke obstructie in de rivier. Echter, deze technieken zijn wel relatief goedkoop na initiële installatie.

3. CONCLUSIE

Er is weliswaar nog veel onduidelijk over de effectiviteit van de diverse technieken, waardoor nieuwe informatie de keuze voor de ene of de andere techniek kan beïnvloeden, maar er zijn een paar globale conclusies te geven:

- Bestaande rwzi's spelen al een belangrijke rol bij het verwijderen van microplastics en kunnen met beperkte middelen nog efficiënter gemaakt worden. Met de toepassing van een van de hier genoemde aanvullende technieken is het verwijderingspercentage nog verder op te voeren, maar welke techniek de meest geschikte is hangt af van de locatie.
- Voor riooloverstorten lijken fijnzeef- of diskfiltratie het meest in aanmerking te komen om microplastics af te vangen.
- Methoden die zijn ontwikkeld voor het verwijderen van plastics uit oppervlaktewater zijn vermoedelijk niet effectief voor microplastics, maar wel voor grotere plastics. Dit pleit ervoor om zoveel mogelijk microplastics af te vangen voor het (afval)water in de omgeving terecht komt.

4. BRONNEN EN LINKS

De Jong, M.M.Q.W. en Mulders, J.J.P.A. (2021) End-of-pipe maatregelen verwijdering microplastics, Witteveen+Bos, [rapport 126212/21-014.095](#), 147 pagina's. De [bijlagen bij dit rapport](#) zijn beschikbaar als separaat document.

Lapointe, M., Farner, J. M., Hernandez, L. M., & Tufenkji, N. (2020). Understanding and Improving Microplastic Removal during Water Treatment: Impact of Coagulation and Flocculation. *Environmental Science & Technology*, 54(14), 8719–8727. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00712>

Liu, F., Nord, N., Bester, K., & Vollertsen, J. (2020). Microplastics Removal from Treated Wastewater by a Biofilter. *Water*, 12(4), 1085. <https://doi.org/10.3390/w12041085>

Ma, B., Xue, W., Hu, C., Liu, H., Qu, J., & Li, L. (2019). Characteristics of microplastic removal via coagulation and ultrafiltration during drinking water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 359, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.155>

STOWA. (2021). Verkenning van verwijderingsroutes microplastics in de rwzi. Publicatienummer 2021-51 <https://www.stowa.nl/publicaties/verkenning-van-verwijderingsroutes-microplastics-de-rwzi>

Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B.-J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21–37. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>

Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, 123, 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>

Verschoor, A., de Valk, E. (2018). Potential measures against microplastic emissions to water. RIVM, Bilthoven, Nederland: Rapport nr. 2017-0193, 64

pagina's. <https://www.rivm.nl/publicaties/potential-measures-against-microplastic-emissions-to-water>

Wang, Z., Lin, T., & Chen, W. (2020). Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP). *Science of The Total Environment*, 700, 134520. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134520>

5. COLOFON

Deze deltafact is geschreven in het kader van het project Ketenverkenner van de Kennisimpuls Waterkwaliteit. In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstututen aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

Versie: 21 maart 2022

Auteur: Arjen Markus (Deltares)

Redactie: Joep van den Broeke (KWR)

6. DISCLAIMER

De in deze Deltafact gepresenteerde kennis is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.