



## Eco- en humane toxicologie van microplastics, deel A.

Literatuuronderzoek naar de mogelijke effecten van  
microplastics op de humane gezondheid.

Het project Ketenverkenner van de Kennisimpuls Waterkwaliteit onderzocht de state-of-the-art rondom een drietal stofgroepen, waaronder microplastics. Deze kennis wordt in vijf Deltafacts gebundeld, waaronder twee Deltafacts die de effecten op de humane gezondheid (A) en de ecotoxicologische effecten (B) van microplastics behandelen. Dit Deltafact is Deel A van de Deltafacts over toxicologie van microplastics en gaat in op de mogelijke gezondheidseffecten van microplastics op de mens door blootstelling via water.

## INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING .....	3
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS .....	4
3. STRATEGIE .....	5
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE .....	5
5. WERKING.....	6
5.1. Welke eigenschappen zijn mogelijk van invloed op gezondheidseffecten in de mens? .....	6
5.1.1. Fysische eigenschappen microplastics.....	7
5.1.2. Chemische eigenschappen microplastics.....	9
5.1.3. Microbiologische aspecten .....	10
5.2. Welke onderzoeksresultaten over effecten in modelsystemen en mogelijke gezondheidseffecten zijn reeds beschikbaar? .....	10
5.2.1. Fysische eigenschappen microplastics.....	11
5.2.2. Chemische eigenschappen microplastics.....	13
5.2.3. Microbiologische aspecten .....	14
6. KENNISLEEMTEN.....	17
7. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN.....	18
8. BRONNEN & LINKS .....	19
9. COLOFON.....	23
10. DISCLAIMER.....	24

## 1. INLEIDING

Microplastics zijn kleine plasticdeeltjes (kleiner dan 5 millimeter, maar groter dan 0,1 micrometer). Deeltjes kleiner dan 0,1 micrometer worden nanoplastics genoemd en worden in deze Deltafact buiten beschouwing gelaten. Microplasticdeeltjes bestaan uit synthetische of natuurlijke polymeren en chemische additieven, zoals weekmakers. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten microplastics; primaire en secundaire microplastics. Primaire microplastics worden door fabrikanten doelbewust gemaakt en aan bijvoorbeeld verf of verzorgingsproducten toegevoegd. Secundaire microplastics ontstaan onbedoeld door fragmentatie van grotere plastics. Hierbij kan men denken aan de slijtage van kleding en autobanden. Het grootschalige gebruik van plastics leidt er toe dat zowel primaire en secundaire microplastics in het milieu terecht komen. Plastics, ook microplastics, worden namelijk nauwelijks afgebroken (mineralisatie<sup>1</sup>) in het milieu, maar na verloop van tijd vindt wel fragmentatie in steeds kleinere deeltjes plaats. Deze eigenschappen zorgen ervoor dat microplastics eenvoudig ophopen in het milieu en terechtkomen in het menselijk lichaam door inhalatie (via lucht en stof- en kledingdeeltjes) en door consumptie van voedsel en drinkwater (Figuur 1). Als gevolg hiervan kan het ook eventueel via de placenta/navelstreng het nog ongebooren kind bereiken. De consumptie van voedsel en water en inhalatie dragen elk voor ongeveer de helft bij aan de totale hoeveelheid door de mens ingenomen microplastics, waarvan een heel klein deel toegeschreven kan worden aan drinkwater ([WHO, 2019](#)).

In de eerste [Deltafact microplastics](#) in 2020 is een overzicht gemaakt van bronnen en emissies van microplastics (plastic deeltjes) naar het oppervlaktewater. In dit Deltafact is beschreven dat microplastics in alle compartimenten van het watersysteem worden aangetroffen, waarbij de hoogste concentraties in afvalwater en oppervlaktewater werden geconstateerd. Er zijn echter ook studies waarin de aanwezigheid in drinkwater en grondwater wordt gerapporteerd. De concentraties zijn wel vele malen lager dan in afvalwater en oppervlaktewater. Hoewel de laatste jaren

---

<sup>1</sup> Mineralisatie is het proces waarbij organische verbindingen in het milieu door micro-organismen worden omgezet in anorganische (minerale) verbindingen (bv. nitraat, koolstofdioxide).

veel onderzoek is gedaan naar de aanwezigheid van microplastics in milieusystemen, zijn de opnamemechanismen (via de longen en het maagdarmkanaal) en toxicologische effecten van microplastics op de menselijke gezondheid nog onvoldoende bekend. Dit maakt een betrouwbare risicobeoordeling onmogelijk, zeker voor blootstellingseffecten op de langere termijn ([EFSA, 2016](#); [WHO, 2019](#)).

Een daaropvolgende [Deltafact](#) in 2021 ging hier dieper op in, waarbij ingezoomd werd op het aandeel microplastics uit verschillende bronnen en de aard van verontreiniging (primair/secundair, vorm, polymeertype, geassocieerde stoffen).

In dit Deltafact wordt dieper ingegaan op één van de benoemde kennishiaten uit de voorgaande Deltafacts: de mogelijke gezondheidseffecten van microplastics op de mens door blootstelling via water. Potentiële ecotoxicologische effecten worden afzonderlijk behandeld. We proberen in dit Deltafact de volgende vragen te beantwoorden:

- Welke eigenschappen van microplastics (MP) zijn van invloed op mogelijke gezondheidseffecten van microplastics?
- Wat is de stand van zaken met betrekking tot het onderzoek naar gezondheidseffecten van microplastics; welke kennis is beschikbaar?
- Welke kennis ontbreekt nog (kennisleemtes) om een goed beeld te krijgen van mogelijke gezondheidseffecten?

## 2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

De afgelopen jaren is in Nederland en daarbuiten veel aandacht geweest voor het gebrek aan kennis over de emissies, de verspreiding en de mogelijke gezondheidseffecten van microplastics. Roex et al. schreef in 2014 een [eerste factsheet](#) met betrekking tot de gevolgen van microplastics voor oppervlaktewaterbeheerders. In 2020 verscheen een eerste [Deltafact Microplastics](#), waarin de invloed van microplastics op de zoetwaterkwaliteit in beeld is gebracht en kennishiaten zijn benoemd ([STOWA, 2020](#)). Deze werd in

2021 opgevolgd door een tweede [Deltafact](#), gericht op het nader beschrijven van bronnen, emissies en een verkenning van mogelijke emissiebeperkende maatregelen. De Vlaamse milieumaatschappij bracht in 2021 een rapport uit over de [verspreiding, effecten en risico's van microplastics in het Vlaamse oppervlaktewater](#). De laatste jaren neemt het aantal gepubliceerde studies met betrekking tot microplastics snel toe. Deze studies richten zich echter voornamelijk op ecotoxicologische effecten van microplastics en bijna nooit op humane effecten, hoewel hier langzaam verandering in lijkt te komen. In de huidige Deltafact worden de mogelijke risico's en humane toxicologische effecten van microplastics die in de eerste Deltafact uit 2020 zijn beschreven verder uitgediept. Dit document is deel A van de Deltafacts Eco- en humane toxicologie van microplastics. In deel B worden de effecten van microplastics op het milieu (ecotoxicologische effecten) nader beschreven worden.

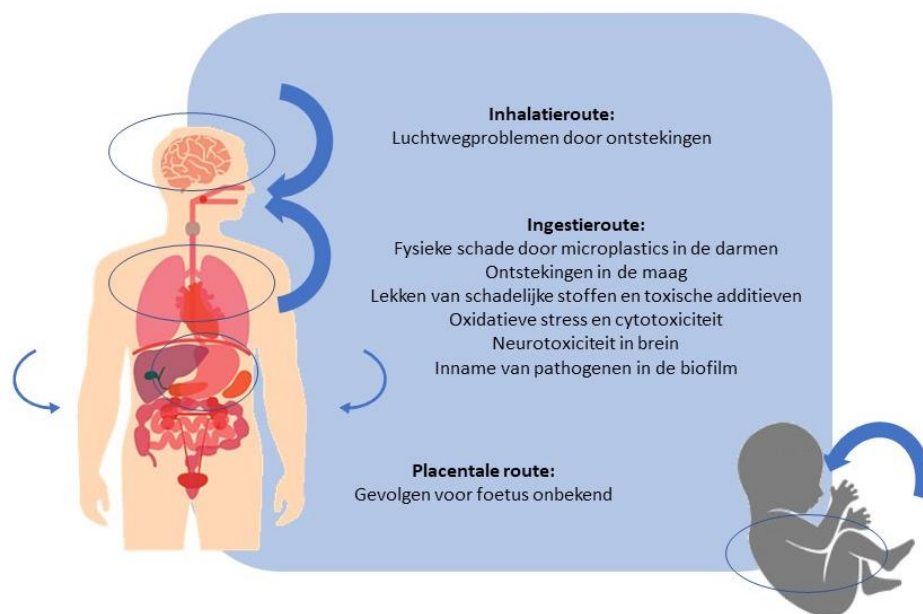
### 3. STRATEGIE

Deze Deltafact heeft als doel de mogelijke gezondheidseffecten van microplastics in de waterketen in kaart te brengen. Dit wordt onderzocht aan de hand van de volgende deelvragen:

1. Welke eigenschappen van microplastics zijn van invloed op mogelijke gezondheidseffecten? (Zie WERKING)
2. Welke onderzoeksresultaten over effecten in modelsystemen en mogelijke gezondheidseffecten zijn reeds beschikbaar? (Zie WERKING)
3. Welke kennisleemten bestaan er met betrekking tot mogelijke gezondheidseffecten met relevantie voor microplastics in de waterketen? (Zie KENNISLEEMTEN)

Als we antwoorden hebben op deze vragen dan kunnen deze worden gebruikt om gericht (drink)waterrichtwaarden af te leiden om (lokale) risico's in te schatten. Ook kan er gekeken worden of er maatregelen nodig zijn om de productie en de verspreiding van microplastics in het milieu terug te dringen.

### 4. SCHEMATISCHE WEERGAVE



*Figuur 1 Grafische weergave van de belangrijkste blootstellingsroutes en potentiële gezondheidseffecten van microplastics in de mens.*

## 5. WERKING

### 5.1. Welke eigenschappen zijn mogelijk van invloed op gezondheidseffecten in de mens?

Microplastics zijn overal in het milieu te vinden. De mens wordt daarom continu blootgesteld aan deze deeltjes via lucht, voedsel en drinkwater ([Zhang et al., 2020](#)). Zoals benoemd in de eerste [Deltafact Microplastics](#) compliceren diverse factoren, zoals het grote aantal soorten (polymeertypen, groottes, vormen), de beoordeling van de risico's van gezondheidseffecten van microplastics. De unieke combinatie van deze eigenschappen van plastics kan bepalend zijn voor een uiteindelijk werkingsmechanisme. Er is echter veel onduidelijk over de daadwerkelijke blootstelling van de mens aan deze mix van verschillende typen microplastics. In deze Deltafact richten we ons echter enkel op de effectkant van de risicobeoordeling van microplastics.

De bepalende factoren met invloed op werkingsmechanismen worden typisch in drie categorieën verdeeld: fysisch, chemisch en microbiologisch ([WHO, 2019](#)). Fysische eigenschappen van microplastics (zoals deeltjesgrootte, dosis, elektrische lading, en vorm), chemische eigenschappen (zoals de

aanwezigheid van additieven of geabsorbeerde verontreinigende stoffen) en microbiologische aspecten (zoals de aanhechting van pathogenen) hebben allen invloed op de mogelijke gezondheidseffecten van microplastics ([Banerjee & Shelver, 2021](#)). Hieronder worden deze eigenschappen verder uitgediept en later wordt uitgelegd op welke manieren deze invloed zouden kunnen hebben op de gezondheid.

### 5.1.1. Fysische eigenschappen microplastics

Er zijn aanwijzingen dat microplastics door hun fysische kenmerken een negatieve invloed hebben op specifieke functies in het lichaam zoals ademhaling of voedselopname. Effecten zouden kunnen worden veroorzaakt door fysieke beschadigingen in het maagdarmkanaal en het dringen van deeltjes door het cellulair membraam, waardoor zij een immuunrespons in gang zetten of oxidatieve stress veroorzaken. Dit laatste betreft een proces waarbij reactieve zuurstofverbindingen het weefsel aantasten. Hoewel een immuunrespons in zichzelf niet schadelijk is, kan een chronische ontstekingsreactie in gang worden gezet doordat fagocyten (witte bloedcellen) niet in staat zijn de deeltjes af te breken. In deze paragraaf worden de toxicologische en gezondheidseffecten beschreven waarop fysische eigenschappen van microplastics invloed kunnen hebben.

*Dosis en deeltjesgrootte:* Microplasticdeeltjes zijn een gevarieerde groep deeltjes en zijn tussen de 0,1 µm en 5 mm groot. Deeltjesdosis wordt doorgaans op twee verschillende manieren gerapporteerd; deeltjesaantal per volume-eenheid en massa per volume-eenheid. Uit studies met dierproeven blijkt dat opname van microplastics in het lichaam bij blootstelling via de orale route voornamelijk plaatsvindt in het darmkanaal, maar dat grote deeltjes mogelijk in de maag een verstoord celmetabolisme kunnen veroorzaken bij een zeer hoge dosis ( $> 1 \times 10^8$  deeltjes per liter) ([Banerjee & Shelver, 2021](#)). In drinkwater worden echter veel lagere microplasticconcentraties gerapporteerd ( $< 10$  deeltjes per liter in Westerse landen) ([WHO, 2019](#)). Een onderzoek waarbij gebruik werd gemaakt van menselijke epitheelcellen uit de maag en darm, wees uit dat de kleinste microplastics door epitheelcellen worden opgenomen ([Banerjee & Shelver, 2021](#); [Stock et al., 2019](#)). Kleine

deeltjes (kleiner dan 50 µm) kunnen eenvoudiger door de darmwand dringen en getransporteerd worden naar andere weefsels dan grotere deeltjes ([Ogonowski et al., 2018](#)).

*Vorm en polymeertype:* Andere eigenschappen van microplastics welke mogelijk toxicologische of gezondheidseffecten hebben zijn deeltjesvorm en polymeertype ([Frias & Nash, 2019](#)). In Nederlandse rivieren en drinkwater worden voornamelijk (gelijkmatige) korrels, microvezels, en (ongelijkmatige) fragmenten aangetroffen ([Mintenig et al., 2020](#)). Deze deeltjes zijn meestal polyethyleen- (PE), polypropyleen- (PP), polystyreen- (PS), polyvinylchloride- (PVC), polyester- (PEst), polymethylmethacrylaat (PMMA), rubber-, en polyacrylamidepolymeren (PAA) ([Danopoulos et al., 2020](#); [Mintenig et al., 2020](#); [Mintenig et al., 2019](#)). Verschillen in polymeerafhankelijke eigenschappen, zoals flexibiliteit, persistentie en ruwheid, kunnen invloed hebben op toxicologische en gezondheidseffecten van microplastics. Hoewel alle polymeertypen slecht oplossen in water, verschilt de oplosbaarheid en lading tussen polaire (PVC, PAA, PMMA) en non-polaire polymeren (PE, PP, PS). Polaire polymeren zijn makkelijker op te lossen in een oplosmiddel dan non-polaire polymeren en kunnen een negatieve of positieve lading hebben. Non-polaire polymeren hebben geen lading. Het mogelijke effect van deze verschillen in lading wordt onder het kopje *elektrostatische lading* verder toegelicht. Daarnaast speelt polymeertype een rol in het lekken van schadelijke additieven (zoals Bisfenol A) en het aanhechten van diverse (potentieel schadelijke) micro-organismen (zie [Microbiologische aspecten](#)), welke schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid ([Campanale et al., 2020](#); [Rahman et al., 2020](#)).

*Elektrostatische lading:* Zoals in de vorige paragraaf beschreven, kunnen polaire polymeren (zoals PVC, PA en PMMA) een negatieve of positieve lading hebben. Negatief geladen deeltjes worden eenvoudiger opgenomen door cellen in het maagdarmkanaal dan positief geladen deeltjes. Dit komt hoogstwaarschijnlijk omdat de beschermende slijm laag die op het epitheel (dekweefsel van de darm of maag) aanwezig is mucinen (slijmspecifieke eiwitten) bevat die negatief geladen zijn, waardoor positief geladen deeltjes



hieraan binden en niet door de cel opgenomen kunnen worden ([Banerjee & Shelver, 2021](#)). [Walczak et al. \(2015\)](#) rapporteren dat negatief geladen deeltjes in vijf keer hogere concentraties worden aangetroffen in organen in ratten bij een dosis van 125 mg/kg lichaamsgewicht dan positief geladen deeltjes of ongeladen deeltjes.

### 5.1.2. Chemische eigenschappen microplastics

De chemische samenstelling van microplastics leidt mogelijk tot toxicologische effecten in het menselijk lichaam. Hierbij wordt doorgaans onderscheid gemaakt tussen de polymeren zelf, stoffen die met een specifiek doel zijn toegevoegd (additieven) en schadelijke stoffen die aan de microplastics zijn geadsorbeerd. Deze additieven en geadsorbeerde stoffen kunnen vrij beschikbaar komen door uit de deeltjes te lekken. Polymeertype is in de vorige paragraaf al beschreven. In deze paragraaf worden additieven en geadsorbeerde chemicaliën aan microplastics verder toegelicht.

*Additieven:* Additieven zijn chemische stoffen die bewust aan plastics zijn toegevoegd tijdens de productie, om het plastic specifieke eigenschappen te geven. Zo geven additieven het plastic kleur, transparantie of verbeteren ze de resistentie van het plastic tegen degradatie, hitte, vuur (vlamvertragers), UV-licht en schimmels. Typisch worden deze additieven verdeeld in drie subcategorieën; i) functionele additieven (die ervoor zorgen dat het plastic langer stabiel blijft), ii) kleurstoffen, en iii) vulstoffen (bijvoorbeeld kalk of klei).

*Geadsorbeerde chemicaliën:* Aan plasticdeeltjes geadsorbeerde chemicaliën hopen potentieel samen met de microplastics op in het menselijk lichaam en kunnen zo de menselijke gezondheid negatief beïnvloeden. Er is echter nog onvoldoende bekend over de daadwerkelijke ophoping van microplastics, en dus ook van geadsorbeerde chemicaliën, in de mens. [Mato et al. \(2001\)](#) rapporteren dat persistente organische verontreinigende stoffen (POPs) aan microplastics kunnen binden in concentraties die in natuurlijke systemen worden aangetroffen. Zo werden PCB-concentraties van rond de 500 picogram/liter gerapporteerd in zeewater tegenover concentraties van 117 nanogram/liter (117000 picogram/liter) in microplastics in zeewater.

Onderzoek wees uit dat aangehechte stoffen, waaronder POPs en metalen, na inname van microplastics in het maagdarmkanaal vrij kunnen komen, doordat de kleinere deeltjes in zijn geheel via fagocyten (witte bloedcellen) door de epitheel dringen of doordat de stoffen uit de deeltjes uitlogen bij een lage pH ([Koelmans et al., 2013](#)). De mate waarin stoffen aan microplastics binden is wederom afhankelijk van deeltjeseigenschappen (waaronder polymeertype, mate van hydrofobiciteit, deeltjesgrootte en lading), en van externe factoren (pH, ionische sterkte, temperatuur en de biofilm (aan de plasticdeeltjes gehechte laag micro-organismen)) ([Joo et al., 2021](#)).

### 5.1.3. Microbiologische aspecten

Het drijfvermogen, de hydrofobiciteit en het harde oppervlak van de microplastics maken dat micro-organismen zich makkelijk hechten en mogelijk over grote afstanden in oppervlaktewater getransporteerd worden ([Mughini-Gras et al., 2021](#); [WHO, 2019](#)). [Mughini-Gras et al. \(2021\)](#) rapporteren *Acinetobacter*, *Flavobacterium* en *Alkanidiges* als de meest voorkomende microbiële taxa in de biofilm van microplastics in Nederlandse wateren, gemonsterd in de zomer van 2019 en winter van 2020. De exacte samenstelling van microbiële biota is echter afhankelijk van onder andere deeltjesgrootte, locatie, en seizoen. Ook kan de waargenomen samenstelling afhangen van monstermethode.

## 5.2. Welke onderzoeksresultaten over effecten in modelsystemen en mogelijke gezondheidseffecten zijn reeds beschikbaar?

Zowel fysische, chemische en microbiologische eigenschappen van microplasticdeeltjes, als milieufactoren spelen een belangrijke rol in het gedrag, de opname (de blootstelling) en de effecten van microplastics op de menselijke gezondheid. De effecten veroorzaakt door de drie typen factoren zullen hieronder apart behandeld worden. In theorie kunnen gezondheidseffecten echter worden veroorzaakt door een combinatie van deze factoren en kunnen ze elkaar beïnvloeden. Zo'n unieke combinatie van eigenschappen maakt risicobeoordeling voor microplastics lastig. Daarnaast bemoeilijkt het gebrek aan informatie over de menselijke blootstelling aan microplastics de risicobeoordeling. Het beperkte aantal toxicologische

onderzoeken dat is uitgevoerd maakt gebruik van modelsystemen, zoals ratten en muizen of menselijke cellijnen. Resultaten uit deze onderzoeken moeten worden geëxtrapoleerd om een uitspraak te kunnen doen over de potentiële risico's voor de menselijke gezondheid, indien ook de blootstelling bekend is. Mogelijk kunnen de fysische en chemische eigenschappen van microplastics op een viertal manieren toxiciteit veroorzaken in menselijke cellen: i) door schade te veroorzaken aan het celmembraan, ii) door oxidatieve stress in de cel, iii) door het opwekken van een immuunrespons en iv) door het toebrengen van schade aan het DNA (genotoxiciteit) ([Banerjee & Shelver, 2021](#)). Een overzicht van de belangrijkste conclusies per eigenschap is terug te vinden in Tabel 1 aan het eind van dit hoofdstuk.

### 5.2.1. Fysische eigenschappen microplastics

*Dosis en deeltjesgrootte:* Het effect van microplastics op de mens is nog niet geheel duidelijk. Wel rapporteren diverse studies dat deeltjes kleiner dan 50 µm gemakkelijker door cellen in het maagdarmkanaal opgenomen worden, door het lichaam worden getransporteerd via het bloed en grotere schade aanrichten dan grotere microplasticdeeltjes. Kleinere microplastics hebben een grotere oppervlakte-tot-volume verhouding, waardoor deze relatief meer eiwitten en moleculen kunnen binden dan grotere deeltjes ([Forte et al., 2016](#); [WHO, 2019](#)).

Het enige kwantitatieve toxicologische eindpunt gerapporteerd in het WHO rapport uit 2019 over microplastics in drinkwater is een no-observed-adverse-effect-level (NOAEL) van 2500 mg/kg lichaamsgewicht per dag (de hoogste blootstelling in een studie waarbij geen effecten in ratten werden gevonden). Het is echter lastig om deze waarde om te rekenen naar een drinkwaterrichtwaarde, aangezien onvoldoende bekend is over de blootstelling van mensen aan microplastics. In Nederland werden in de afgelopen jaren (2017 en 2018) lage concentraties microplastics in oppervlaktewateren aangetroffen (mediaan: 0,87, met één uitschieter naar 11,5 microplasticdeeltjes per liter), vergelijkbaar met een massa van enkele microgrammen tot één milligram per liter ([Koelmans et al., 2019](#); [Leusch & Ziajahromi, 2021](#); [Mintenig et al., 2020](#)). Hiervan bleek het grootste deel van

de deeltjes (67%) kleiner te zijn dan 100 µm ([Mintenig et al., 2020](#)). Ook in [Vlaanderen](#) werden in 2019 doorgaans lage concentraties microplastic waargenomen in oppervlaktewateren (gemiddeld  $0,36 \pm 0,81$  deeltjes per liter, goed voor een massa van enkele microgrammen per liter). Deze concentraties zijn hoger dan de typische (drinkwater)richtwaarde voor onbekende stoffen van 1 µg/L, maar veel lager dan afgeleide concentraties waarop mogelijke effecten in organismen kunnen optreden die in literatuur worden gerapporteerd (20000 MP/m<sup>3</sup> en 74000 MP/m<sup>3</sup> (enkele milligrammen per liter) ([Adam et al., 2019](#); [Besseling et al., 2019](#)) of gemiddeld 1 mg/L ([Ogonowski et al., 2018](#)). Daarnaast betreft het hier ecotoxicologische effecten en concentraties gemeten in oppervlaktewater en zijn deze dus niet gebaseerd op gezondheidsrisico's voor de mens na inname van drinkwater.

*Vorm en polymeertype:* Er is weinig bekend over de mate waarin microplasticsvorm en polymeertype een rol spelen bij de opname in het lichaam en mogelijke gezondheidseffecten ([WHO, 2019](#)). Verschillen in gezondheidseffecten geassocieerd met polymeertype zijn vooral toe te schrijven aan polymeertype-afhankelijke elektrostatische lading, uitloging van additieven en aanhechting van schadelijke stoffen en micro-organismen. Microplasticsvorm blijkt bij inhalatie een belangrijke factor te zijn bij het bepalen van de mogelijke gezondheidsrisico's. Microvezels staan er namelijk om bekend irritatie in het longweefsel te veroorzaken door hun langgerekte vorm. Bij inname via de orale route is echter vrij weinig bekend over het effect van vorm op gezondheid. Bij veel studies worden polystyreenkorrels gebruikt die mogelijk geen representatieve resultaten geven.

Combinatiestudies waarin meerdere factoren van microplastics worden onderzocht blijken niet altijd eenvoudig uitvoerbaar, aangezien een factorieel aantal studies nodig is om iets zinnigs te kunnen zeggen over potentiële combinatie-effecten. Zo rapporteren [Deng et al. \(2018\)](#) in hun studie met PE en PS microplastics in drinkwater dat microplastics en organofosfaten (vlamvertragers) samen verhoogde oxidatieve stress en neurotoxiciteit in muizen veroorzaakten, maar kon de individuele contributie van de polymeertypen en de organofosfaten aan de geobserveerde effecten niet achterhaald worden.

*Elektrostatistische lading:* In [Fysische eigenschappen microplastics](#) werd al benoemd dat negatief geladen deeltjes waarschijnlijk vijf keer makkelijker in het maagdarmkanaal worden opgenomen dan positief geladen deeltjes. Wanneer positief geladen deeltjes toch opgenomen worden door de cel blijken deze microplasticdeeltjes wel eerder te resulteren in celschade en oxidatieve stress, waarbij reactieve moleculen kunnen worden gevormd die schade zouden kunnen toebrengen aan DNA en RNA, in zowel long- als darmweefsel ([Banerjee & Shelver, 2021](#)). Er worden echter tegenstrijdige uitkomsten gerapporteerd in de review van Banerjee en Shelver, wat doet vermoeden dat het effect van lading op het oppervlak van microplasticdeeltjes afhankelijk is van celtype, milieufactoren en andere eigenschappen van de deeltjes die zijn gebruikt. Ook het experimentele protocol kan een grote rol spelen, aangezien de lading van de microplasticdeeltjes kan veranderen nadat deze in een buffer worden opgelost.

### 5.2.2. Chemische eigenschappen microplastics

*Additieven:* Additieven zijn nooit chemisch gebonden aan de polymeerketens van het plastic, waardoor deze uit microplastics kunnen uitloggen, wat zorgt voor blootstelling van mensen en kan bijdragen aan mogelijke gezondheidseffecten ([Campanale et al., 2020](#); [Hahladakis et al., 2018](#)). Sommige van deze additieven zijn Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS), omdat ze worden aangemerkt als CMR (carcinogeen, mutageen of reprotoxisch (een effect hebbende op de reproductie of op het nageslacht)), PBT/PMT (persistent, bioaccumulerend/mobiel en toxisch), vPvB (zeer persistent en zeer bioaccumulerend/mobiel) of als hormoonverstoring. Voorbeelden hiervan zijn ftalaten, bisfenol A en gebromeerde brandvertragende middelen, die worden aangemerkt als risicovolle stoffen door de EU, en waarvoor al restricties bestaan. Omdat het gebruik van deze schadelijke additieven al gereguleerd is, wordt door de WHO geconcludeerd dat het risico op gezondheidseffecten door het lekken van additieven, ook bij blootstelling aan hoge concentraties microplastics, waarschijnlijk laag is ([WHO, 2019](#)). Verschillende stoffen kunnen echter een zelfde toxisch werkingsmechanisme hebben en zo een gecombineerde werking vertonen. Deze zogenaamde

mengseltoxiciteit wordt bij de conclusie van de WHO echter niet meegewogen. Daarnaast kunnen persistente additieven mogelijk jarenlang in het lichaam aanwezig blijven doordat deze stoffen eenvoudig binden aan vetweefsel en vrij beschikbaar komen wanneer dit vetweefsel wordt verbrand.

*Geadsorbeerde chemicaliën:* Voor de individuele schadelijke stoffen die aan microplastics kunnen hechten zijn vaak gezondheidkundige risicogrenzen bekend. Een aantal jaar geleden concludeerden de WHO, EFSA en de FAO echter onafhankelijk van elkaar dat de risico's op gezondheidseffecten veroorzaakt door het lekken van geadsorbeerde stoffen en additieven verwaarloosbaar klein zijn, met name omdat het hier relatief kleine hoeveelheden schadelijke stoffen betreft (in vergelijking met andere blootstellingsroutes) en de meest schadelijke stoffen toch al gemonitord worden ([EFSA, 2016](#); [Lusher et al., 2017](#); [WHO, 2019](#)). Hoewel de totale blootstelling van geabsorbeerde schadelijke stoffen relatief eenvoudig gemonitord kan worden, is onduidelijk hoe eigenschappen van microplastics de opname in de mens van deze schadelijke stoffen beïnvloeden.

### 5.2.3. Microbiologische aspecten

De aan de plasticdeeltjes gehechte laag micro-organismen, de biofilm genoemd, herbergt mogelijk schadelijke ziekteverwekkers. Deze micro-organismen kunnen zich echter meestal niet vermenigvuldigen buiten de gastheerorganismen ([WHO, 2019](#)). Daarnaast wordt een groot deel van de micro-organismen onschadelijk gemaakt tijdens verwijderingsprocessen in de waterzuivering. De WHO concludeerde dat het risico op gezondheidseffecten door micro-organismen in de biofilm van microplastics in drinkwater zeer laag is ([WHO, 2019](#)). Risico's geassocieerd met micro-organismen in biofilms om deeltjes in oppervlaktewater kunnen echter een stuk hoger zijn bij (onopzettelijke) inname van water. Hier is echter nog onvoldoende onderzoek naar gedaan om er een conclusie uit te kunnen trekken.

In oppervlaktewater kan uitwisseling van resistentiegenen optreden tussen micro-organismen die zich in de biofilm bevinden ([Mughini-Gras et al., 2021](#)).

De introductie van microplastics als biofilmsubstraat in een watersysteem zorgt voor een verandering in de samenstelling van micro-organismen in het systeem, vergeleken met de samenstelling op een natuurlijk substraat. Zo rapporteren [Miao et al. \(2019\)](#) een lagere diversiteit in micro-organismen en hogere aanwezigheid van Gammaproteobacteria ten opzichte van natuurlijke substraten. Een studie door [Mughini-Gras et al \(2021\)](#) laat zien dat biofilms voornamelijk op grotere microplastics (100-500 µm) schadelijke pathogenen herbergen in het water van Nederlandse rivieren ten opzichte van kleinere deeltjes. Daarnaast werden in 94% van alle watermonsters resistentiegenen aangetroffen, wat mogelijk voor gezondheidsrisico's kan zorgen bij (onopzettelijke) inname van het water.

*Tabel 1: Algemene conclusies met betrekking tot de effecten van eigenschappen van microplastics op de menselijke gezondheid.*

Fysische eigenschappen	Dosis: De WHO benoemt een enkele wetenschappelijke gezondheidkundige effectwaarde van 2500 mg/L in water, hoewel in andere studies lagere risicogrenzen worden gerapporteerd met betrekking tot ecotoxicologische effecten.
	Grootte: Kleinere deeltjes < 5µm worden makkelijk gefagocyteerd (afgebroken worden door witte bloedcellen) en worden op die manier in cellen opgenomen, waar ze potentieel voor ontstekingsreacties kunnen zorgen.
	Elektrostatische lading: Het transport van negatief geladen deeltjes is makkelijker dan voor positief geladen deeltjes of neutrale deeltjes. Positief geladen deeltjes zijn mogelijk wel cytotoxischer dan negatief geladen deeltjes
	Deeltjesvorm: Hoewel bekend is dat microvezels irritatie kunnen veroorzaken in longweefsel via de inhalatieroute, is onduidelijk wat het effect is van deeltjesvorm is op de gezondheid bij orale inname.
	Polymeertype: Er is weinig bekend over het effect van polymeertype op de menselijke gezondheid. De meeste (toxicologische) studies maken gebruik van polystyreenkorrels, wat niet representatief is voor microplastics van andere polymeertypen die in oppervlaktewateren voorkomen.
Chemische eigenschappen	Additieven: Additieven zijn nooit chemisch gebonden aan de polymeerketens van het plastic, waardoor deze uit microplastics kunnen lekken. Omdat het gebruik van deze schadelijke additieven al gereguleerd is, wordt door de WHO geconcludeerd dat het risico op gezondheidseffecten door het uitloggen van additieven waarschijnlijk laag is. Mengseltoxiciteit van deze stoffen is echter niet meegewogen en persistente additieven blijven mogelijk jarenlang in het lichaam.
	Geadsorbeerde chemicaliën: Voor veel potentieel schadelijke stoffen zijn al gezondheidkundige risiconormen bekend. Er is echter nog niet altijd bekend in hoeverre stoffen die aan microplasticdeeltjes zijn gehecht door het lichaam worden opgenomen. Zeker omdat dit afhankelijk is van diverse factoren, zowel gerelateerd aan de eigenschappen van de deeltjes (Zoals polymeertype en deeltjesgrootte) als aan externe factoren (bijvoorbeeld pH en temperatuur).
Microbiologische aspecten	Hoewel potentieel schadelijke micro-organismen in de biofilm zich niet kunnen vermenigvuldigen buiten een gastheerorganisme, kan er mogelijk wel antibiotica-



	resistentie ontstaan in micro-organismen in de biofilm, door uitwisseling van genen.
--	--

## 6. KENNISLEEMTEN

Duidelijk is dat nog veel onderzoek nodig is om de toxicologische effecten van microplastics in kaart te brengen ([Vethaak & Legler, 2021](#)). Sturend hierin zijn onderzoeken die zich richten op de mogelijke gezondheidseffecten door gecombineerde eigenschappen van microplastics, zoals bijvoorbeeld in het [MOMENTUM](#)-consortium (een samenwerkingsverband tussen diverse Nederlandse universiteiten, onderzoeksinstituten en industrie) gedaan wordt ([ZonMw, 2019](#)). In deze paragraaf worden de belangrijkste kennisleemten die in voorgaande hoofdstukken zijn beschreven nogmaals uitgelicht.

- Er is [behoefte](#) aan een gestandaardiseerde manier van meten van microplastics (en nanoplastics) in het milieu en in de mens, om data goed met elkaar te kunnen vergelijken en om de kwaliteit van de onderzoeken te beoordelen. De in januari 2021 in werking getreden herziene Europese drinkwaterrichtlijn benoemt het harmoniseren van methoden om concentraties microplastics vast te stellen in drinkwater als één van de belangrijkste kennisleemten ([European Commission, 2021](#)). Hoewel waterschappen in California in 2020 en 2021 al hebben gewerkt aan het standaardiseren van dergelijke methoden ([California Water Boards, 2021](#)), zijn methoden binnen de Europese Unie nog niet uitvoerig getest, wat harmonisatie van methoden lastig maakt. Naar aanleiding van de herziene Europese drinkwaterrichtlijn, waarin microplastics expliciet als aandachtstof worden benoemd, zullen microplastics in de nabije toekomst naar verwachting gemonitord gaan worden in het watervoorzieningssysteem, inclusief risico-evaluaties. Hiervoor is een geharmoniseerde meetmethode noodzakelijk, waarin zowel gekeken wordt naar deeltjesaantal per volume-eenheid als massa per volume-eenheid.
- Er is nog steeds veel onduidelijkheid over hoeveel microplastics worden opgenomen in het menselijk lichaam en hoeveel er in cellen accumuleren.

Hoewel deze deeltjes in de darmen en de longen terug zijn gevonden, is minder bekend in hoeverre de deeltjes ook naar de andere orgaansystemen zoals de hersenen en de baarmoeder getransporteerd worden en of deze hier bij hoge blootstellingen schade zouden kunnen aanrichten. Tevens is onduidelijk hoe de blootstelling aan microplastics verandert door de tijd en wat voor effect dit heeft op de hoeveelheid deeltjes die wordt opgenomen door de mens. Veel recente studies met betrekking tot de gezondheidseffecten van microplastics zijn kortdurend, gebruiken een enkel type microplastic (polystyreenkorrels) en zijn niet altijd te extrapoleren naar chronische effecten in een veranderend natuurlijk systeem.

- De beoordeling van mogelijke risico's voor de gezondheid wordt verder bemoeilijkt door een gebrek aan inzicht over de specifieke toxiciteitsmechanismen van microplastics en mogelijke interacties met schadelijke stoffen. Tevens is er een gebrek aan inzicht in de gezamenlijke impact van de verschillende factoren (fysische en chemische eigenschappen en microbiologische aspecten) van microplastics. Het is nog onvoldoende duidelijk wat de bijdrage van de diverse factoren is aan de effecten van microplastics op de menselijke gezondheid. Dit maakt het lastig om voor microplastics kwantitatieve risiconormen af te leiden en daarop richtwaarden voor microplastics in drinkwater te baseren.

## 7. PRAKTIJKERVERINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN

Het afgelopen decennium zijn meerdere (inter)nationale onderzoeksprojecten uitgevoerd om inzicht te krijgen in humaanrelevante effecten van micro- en nanoplastics. Zo startte in 2015 het vierjarige TRAMP-project (Technologies for the Risk Assessment of MicroPlastics), wat o.a. in kaart bracht in welke mate de Nederlandse binnenwateren vervuild zijn met deze deeltjes. Een aantal jaar hierna, in 2019, startte onderzoeksfinancierder ZonMw het Microplastics & Health onderzoeksprogramma, wat zich specifiek richtte op het onderzoeken van gezondheidseffecten van microplastics. Het programma omvatte vijftien kortlopende onderzoeken naar o.a. toxiciteit, mechanismes,

effecten op organen en ziekteverwekkers geassocieerd met de opname van microplastics door de mens. Inmiddels is deze eerste ronde aan projecten afgerond en zijn de resultaten gepresenteerd tijdens een symposium. Hieruit werd duidelijk dat er nog veel kennishiaten bestaan met betrekking tot de potentiële gezondheidseffecten van microplastics (zie [KENNISLEEMTEN](#)). De doorbraakprojecten uit dit programma zetten zich gebundeld voort in het recent opgestarte MOMENTUM-consortium, een samenwerkingsverband tussen diverse Nederlandse universiteiten, onderzoeksinstituten en industrie. Het consortium heeft als doel om meer inzicht te krijgen in de gezondheidseffecten van microplastics. Ten slotte is in 2021 het Europese CUSP cluster gestart; een cluster van vijf grootschalige multidisciplinaire consortia/projecten om inzicht te krijgen in de gezondheidseffecten van micro- en nanoplastics. In de komende jaren zullen meer kennishiaten met betrekking tot de mogelijke gezondheidseffecten van microplastics verder worden onderzocht binnen voorgenoemde projecten.

## 8. BRONNEN & LINKS

Adam, V., Yang, T., & Nowack, B. (2019). [Toward an ecotoxicological risk assessment of microplastics: Comparison of available hazard and exposure data in freshwaters](#). *Environmental toxicology and chemistry*, 38(2), 436-447. <https://doi.org/10.1002/etc.4323>

Banerjee, A., & Shelver, W. L. (2021). [Micro- and nanoplastic induced cellular toxicity in mammals: A review](#). *Science of the total environment*, 755, 142518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142518>

Besseling, E., Redondo-Hasselerharm, P., Foekema, E. M., & Koelmans, A. A. (2019). [Quantifying ecological risks of aquatic micro-and nanoplastic](#). *Critical reviews in environmental science and technology*, 49(1), 32-80. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1531688>

California Water Boards. (2021). Microplastics. Retrieved from [https://www.waterboards.ca.gov/drinking\\_water/certlic/drinkingwater/microplastics.html](https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/microplastics.html)

Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). [A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health](#). International journal of environmental research and public health, 17(4), 1212.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7068600/>

Danopoulos, E., Twiddy, M., & Rotchell, J. M. (2020). [Microplastic contamination of drinking water: A systematic review](#). PloS one, 15(7),  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236838>

Deng, Y., Zhang, Y., Qiao, R., Bonilla, M. M., Yang, X., Ren, H., & Lemos, B. (2018). [Evidence that microplastics aggravate the toxicity of organophosphorus flame retardants in mice \(Mus musculus\)](#). Journal of hazardous materials, 357, 348-354.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.06.017>

EFSA. (2016). [Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood](#). EFSA Journal, 14(6), e04501.  
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>

European Commission. (2021). Review of the drinking water directive (98/83/EC). Retrieved from [https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/review\\_en.html](https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/review_en.html)

Forte, M., Iachetta, G., Tussellino, M., Carotenuto, R., Prisco, M., De Falco, M., Laforgia, V., & Valiante, S. (2016). [Polystyrene nanoparticles internalization in human gastric adenocarcinoma cells](#). Toxicology in Vitro, 31, 126-136. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2015.11.006>

Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). [Microplastics: Finding a consensus on the definition](#). Marine Pollution Bulletin, 138, 145-147.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>

Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). [An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling](#). Journal of hazardous materials, 344, 179-199.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>

Joo, S. H., Liang, Y., Kim, M., Byun, J., & Choi, H. (2021). [Microplastics with adsorbed contaminants: Mechanisms and Treatment](https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100042). Environmental Challenges, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100042>

Koelmans, A. A., Besseling, E., Wegner, A., & Foekema, E. M. (2013). [Plastic as a carrier of POPs to aquatic organisms: a model analysis](https://doi.org/10.1021/es401169n). Environmental science & technology, 47(14), 7812-7820. <https://doi.org/10.1021/es401169n>

Koelmans, A. A., Nor, N. H. M., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). [Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality](https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054). Water research, 155, 410-422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>

Leusch, F. D., & Ziajahromi, S. (2021). [Converting mg/L to Particles/L: Reconciling the Occurrence and Toxicity Literature on Microplastics](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04093). Environmental science & technology, 55(17), 11470-11472. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04093>

Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). [Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety: FAO](#).

Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., & Kaminuma, T. (2001). [Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment](https://doi.org/10.1021/es0010498). Environmental science & technology, 35(2), 318-324. <https://doi.org/10.1021/es0010498>

Miao, L., Wang, P., Hou, J., Yao, Y., Liu, Z., Liu, S., & Li, T. (2019). [Distinct community structure and microbial functions of biofilms colonizing microplastics](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.378). Science of the total environment, 650, 2395-2402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.378>

Mintenig, S., Kooi, M., Erich, M., Primpke, S., Redondo-Hasselerharm, P., Dekker, S., Koelmans, A., & Van Wezel, A. (2020). [A systems approach to understand microplastic occurrence and variability in Dutch riverine surface waters](https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115723). Water research, 176, 115723. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115723>

Mintenig, S., Löder, M., Primpke, S., & Gerds, G. (2019). [Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources.](#) Science of the total environment, 648, 631-635. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.178>

Mughini-Gras, L., van der Plaats, R. Q., van der Wielen, P. W., Bauerlein, P. S., & de Roda Husman, A. M. (2021). [Riverine microplastic and microbial community compositions: A field study in the Netherlands.](#) Water research, 192, 116852. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116852>

Ogonowski, M., Gerdes, Z., & Gorokhova, E. (2018). [What we know and what we think we know about microplastic effects—A critical perspective.](#) Current Opinion in Environmental Science & Health, 1, 41-46.

Rahman, A., Sarkar, A., Yadav, O. P., Achari, G., & Slobodnik, J. (2020). [Potential human health risks due to environmental exposure to microplastics and knowledge gaps: a scoping review.](#) Science of the total environment, 143872. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143872>

Roex, E., Vethaak, D., Leslie, H., & De Kreuk, M. (2014). [Microplastics in het zoetwater milieu Een inventarisatie van mogelijke risico's voor waterschappen.](#) Delft: Deltares, Instituut voor Milieuvraagstukken, TU Delft.

Stock, V., Böhmert, L., Lisicki, E., Block, R., Cara-Carmona, J., Pack, L. K., Selb, R., Lichtenstein, D., Voss, L., & Henderson, C. J. (2019). [Uptake and effects of orally ingested polystyrene microplastic particles in vitro and in vivo.](#) Archives of toxicology, 93(7), 1817-1833. <https://doi.org/10.1007/s00204-019-02478-7>

STOWA. (2020). Deltafact microplastics. Retrieved from <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterkwaliteit/kennisimpuls-waterkwaliteit/microplastics>

STOWA. (2021). Verdiepende analyse van microplastics bronnen, emissies en een verkenning van mogelijke emissiebeperkende maatregelen. Retrieved from <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterkwaliteit/kennisimpuls-waterkwaliteit/verdiepende-analyse-van-microplastics-bronnen>

Vercauteren, M., Semmouri, I., van Acker, E., Pequeur, E., van Esch, L., Uljee, I., Asselman, J., & Janssen, C. (2018). [Onderzoek naar verspreiding, effecten en risico's van microplastics in het Vlaamse oppervlaktewater.](#)

Vethaak, A. D., & Legler, J. (2021). [Microplastics and human health.](#) Science, 371(6530), 672-674. <https://doi.org/10.1126/science.abe5041>

Walczak, A. P., Hendriksen, P. J., Woutersen, R. A., van der Zande, M., Undas, A. K., Helsdingen, R., van den Berg, H. H., Rietjens, I. M., & Bouwmeester, H. (2015). [Bioavailability and biodistribution of differently charged polystyrene nanoparticles upon oral exposure in rats.](#) Journal of Nanoparticle Research, 17(5), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-3029-y>

WHO. (2019). [Microplastics in Drinking Water.](#)

Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2020). [A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure.](#) Environmental science & technology, 54(7), 3740-3751. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04535>

ZonMw. (2019). Wat doen microplastics in ons lichaam? Verkenning en kennisagenda rond microplastics en gezondheid. Retrieved from <https://www.zonmw.nl/nl/actueel/nieuws/detail/item/wat-doen-microplastics-in-ons-lichaam/>

## 9. 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: 17 maart 2022

Auteurs: Renske Hoondert (KWR), Patrick Bäuerlein (KWR), Joep van den Broeke (KWR)

## 10. DISCLAIMER

De in dit 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.