

# Wat doen microplastics in ons lichaam?

Verkenning en kennisagenda  
rond microplastics en gezondheid



## **Colofon**

ZonMw stimuleert gezondheidsonderzoek en zorginnovatie.

Vooruitgang vraagt om onderzoek en ontwikkeling. ZonMw financiert gezondheidsonderzoek én stimuleert het gebruik van de ontwikkelde kennis - om daarmee de zorg en gezondheid te verbeteren.

ZonMw heeft als hoofdpdrachtgevers het ministerie van VWS en NWO. Het ministerie van IenW is opdrachtgever van deze verkenning.

Voor meer informatie over deze verkenning kunt u contact opnemen met Frank Pierik, programmamanager van het ZonMw programma Microplastics & Health via e-mail: [MicroplasticsHealth@zonmw.nl](mailto:MicroplasticsHealth@zonmw.nl) of telefoon 070 349 54 77.

### **Projectleiding ZonMw:**

Frank Pierik  
Maarten de Ruijter  
Wilma van Donselaar

### **Redactie:**

Pieter van Megchelen (tekst)  
Dick Vethaak (wetenschappelijk)

### **Illustraties en opmaak:**

Leene Communicatie

# Inhoud

	Voorwoord	4
	Samenvatting	5
	Leeswijzer	6
1	Achtergrond en doelstelling	9
	1.1 Probleemstelling	9
	1.2 Urgentie	13
	1.3 Afbakening	13
	1.4 Doelstelling en werkwijze	13
2	Kennishiaten en kennisbehoefte	17
	2.1 Blootstelling en meetmethoden	17
	2.2 Gezondheidseffecten in model-systemen, individuen en groepen	18
	2.3 Welke (bronnen van) microplastics veroorzaken het grootste gezondheidsrisico?	20
	2.4 Wat is de bijdrage van maatregelen en procedures?	21
	2.5 Milieueffecten en andere vraagstellingen	22
3	Aandachtsgebieden en kennisagenda	24
	3.1 Van aandachtsgebieden naar prioriteiten	24
	3.2 Volgorde en urgentie	29
	3.3 Aanbevelingen wetenschappelijk onderzoek	30
	3.4 Interdisciplinaire samenwerking, data delen, infrastructuur	30
	3.5 Kansen door praktijkgericht onderzoek en publiek-private samenwerking	31
	3.6 Conclusie en verdere acties	32
	Bijlage 1 Referenties	33
	Bijlage 2 Werkwijze verkenning Microplastics, Milieu & Gezondheid	39
	Bijlage 3 Betrokken personen en organisaties	41

# Voorwoord

De toenemende hoeveelheid microplastic in onze leefomgeving leidt tot vragen. Wat zijn de korte en lange termijn gevolgen van kleine plastic deeltjes in lucht, voeding, en water voor onze gezondheid? Het korte antwoord is dat we het niet weten omdat de kennis ontbreekt en meer onderzoek nodig is. In de maatschappelijke discussie over het onderwerp lijkt het echter soms alsof we al genoeg weten. Sommigen interpreteren het ontbreken van kennis als het ontbreken van risico's, anderen komen al met alarmerende berichten. Het overheidsbeleid en maatregelen in het bedrijfsleven zijn nu nog gebaseerd op het algemene voorzorgsbeginsel. Onderbouwende kennis is keihard nodig.

Het signaleren en agenderen van maatschappelijke gezondheidsvraagstukken is een van de kernactiviteiten van ZonMw. Ik ben dan ook blij met het verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat om een verkenning te doen naar de lacunes in de kennis, en te komen tot een kennisagenda over het onderwerp microplastics en gezondheid. De kennisagenda biedt aanknopingspunten voor een discussie over de risico's en geeft richting aan een zoektocht naar meer kennis en gerichte oplossingen. Dit onderwerp hoort binnen het bredere maatschappelijke thema leefomgeving en gezondheid, een belangrijk aangrijpingspunt voor verbetering van de volksgezondheid. Het zou mooi zijn als we de kleinste microplastics beter kunnen meten en als we antwoord krijgen op de vraag of en zo ja hoe de diverse microplastics effect hebben op de menselijke gezondheid. Dan kunnen we de kwaliteit van de leefomgeving beter monitoren en verbeteren en de eventuele gezondheidsrisico's in kaart brengen en aanpakken. Als bekend is welke plastics wel of juist niet veilig zijn, kunnen we gericht maatregelen nemen en innovatieve oplossingen bedenken.

Deze verkenning laat zien dat de meest basale kennis ontbreekt en identificeert volop mogelijkheden om vooruitgang te boeken. Dat de kennisbehoeften van beleidsmakers, het bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties in deze verkenning centraal zijn gesteld, is een belangrijke voorwaarde om met het onderzoek maatschappelijke impact te genereren. Een neveneffect van de gevolgde werkwijze is dat nieuwe dwarsverbanden zijn ontstaan die relevant zijn voor het ontwikkelen van zowel kennis als oplossingen. Het doen van de verkenning leidde al tot versterking van de samenwerking.

Nederlandse onderzoekers hebben het onderwerp al vroeg opgepakt in een interdisciplinaire samenwerking tussen gezondheidsonderzoekers en milieu-onderzoekers, waardoor ze internationaal voorop lopen. Ik ben blij dat ZonMw hen een duwtje in de rug heeft kunnen geven door het financieren van 15 éénjarige projecten in 2019. Hierbij zijn andere financiers en partners aangehaakt, en dit heeft geleid tot een sterk samenwerkend consortium met internationale partners. Hoewel we nog aan het begin staan van een langer traject, is het een goede start geweest die een goede uitgangspositie geeft. Veel vragen zijn nog onbeantwoord, en deze agenda geeft aan waar de vervolgacties liggen.

Ik wil iedereen die aan deze verkenning heeft bijgedragen bedanken voor hun betrokkenheid, in het bijzonder het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat die ons in de gelegenheid stelde om de verkenning uit te voeren en van relevante input heeft voorzien. Beleidsmakers, brancheorganisaties, topsectoren, fondsen en onderzoekers hebben ons meerdere malen zeer bereidwillig te woord gestaan, en daarmee deze kennisagenda mogelijk gemaakt. De groeiende interdisciplinaire samenwerking die ik zie ontstaan is essentieel om dit veld verder te brengen. Daarom roep ik iedereen op om het belang van verder onderzoek naar microplastics en gezondheid te onderschrijven.

Jeroen Geurts,  
Voorzitter ZonMw

Juli 2020, Den Haag

# Samenvatting

## Inleiding

Microplastics, de verzamelnaam voor kleine en zeer kleine plastic deeltjes, komen overal voor. Langs allerlei routes (bijvoorbeeld via lucht, voeding en water) kunnen ze ons lichaam binnendringen. Hoe groot precies die blootstelling is en wat microplastics in ons lichaam doen, is nog grotendeels onbekend. Wel weten we zeker dat plasticdeeltjes vrijwel niet worden afgebroken en zijn er aanwijzingen dat zij op verschillende manieren schadelijk kunnen zijn. De hoeveelheid microplastics neemt toe, onder meer door het uiteenvallen van zwerfafval en slijtage van plastic producten zoals kunststof kleding, autobanden, keukengerei et cetera. De term microplastics is een containerbegrip voor deeltjes met zeer uiteenlopende grootte (van een halve centimeter tot enkele tientallen nanometers), vorm, chemische samenstelling enzovoorts. Vanuit het voorzorgsbeginsel nemen Nederlandse en Europese overheden maatregelen om de hoeveelheid microplastics in het milieu terug te dringen. Om gerichte specifieke maatregelen te kunnen nemen en te werken aan innovaties om onze gezondheid te beschermen, is meer kennis nodig over deze uiteenlopende plasticdeeltjes.

## Opdracht

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft ZonMw gevraagd om deze verkenning uit te voeren naar de huidige stand van wetenschappelijke kennis over microplastics en gezondheid en te inventariseren welke kennisbehoeften bestaan bij diverse betrokken instanties, om te komen tot een kennisagenda die richting geeft aan toepassingsgericht onderzoek. In dit rapport komt dan ook allereerst de huidige stand van zaken aan de orde (hoofdstuk 1), gevolgd door een inventarisatie van de kennishiaten en kennisbehoeften in wetenschap, beleid en innovatie (hoofdstuk 2) en een kennisagenda met aanbevelingen voor een gecoördineerde aanpak (hoofdstuk 3).

## Resultaten

Er is nog geen bewijs voor ernstige schadelijke effecten van microplastics. Toch is dat geen geruststellende mededeling; er is namelijk nog zeer weinig bekend over de gezondheidseffecten van de diverse microplastic deeltjes. Het is zelfs nog (vrijwel) niet mogelijk om microplastics in het menselijk lichaam te meten. Er bestaan nog geen meetmethoden voor de allerkleinste deeltjes, waarvan verwacht mag worden dat zij gemakkelijk in het lichaam doordringen en zelfs in cellen worden opgenomen. Bij het inschatten van een risico, wordt gebruik gemaakt van een formule waarin het gevaar (*hazard*) vermenigvuldigd wordt met de blootstelling. Voor microplastics is nog veel te weinig kennis over zowel de *hazard* als de blootstelling. Op grond van kennis over vergelijkbare deeltjes is het wel aannemelijk dat de deeltjes zelf al schadelijke effecten hebben (deeltjestoxiciteit). Daarbij is nog onbekend hoe microplastics zich door het lichaam bewegen en in hoeverre er ophoping (accumulatie) optreedt in specifieke cellen of organen. Naast de genoemde deeltjestoxiciteit kunnen de deeltjes wellicht chemische stoffen of ziektekiemen het lichaam binnenbrengen. Plasticdeeltjes zijn omgeven met een laagje, de zogeheten corona (geen relatie met de gelijknamige virussoorten), die mogelijk bijdraagt aan hun chemische en biologische eigenschappen en risico's. Hierover is nog maar weinig bekend.

Uit de inventarisatie bleek dat bedrijfsleven, NGO's, overheid, topsectoren en kennisinstellingen behoefte hebben aan meer kennis over de gezondheidseffecten van microplastics en meetmethoden om deze in kaart te brengen. De inventarisatie bestond uit een aantal interviews, aangevuld met een internetconsultatie. Ook is de tekst van deze verkenning in verschillende fasen besproken en becommentarieerd door deskundigen en betrokkenen met een uiteenlopende achtergrond.

## Conclusies en aanbevelingen

Meer dan 110 jaar na het patent op bakeliet (het eerste plastic) is nog zeer veel onbekend over de gevolgen van de groeiende hoeveelheid microplastics voor onze gezondheid. De eerste aanzet, uit milieuonderzoek en uit het wereldwijd unieke ZonMw programma Microplastics & Health, verdient gecoördineerde voortzetting, afgestemd op internationale ontwikkelingen. Coherentie en doelgerichtheid kunnen worden bevorderd door uit te gaan van een overkoepelend *framework* voor het bepalen van risico's, waarin de inspanningen uit verschillende disciplines bijeen gebracht worden en

waarbij een sterke verbinding bestaat met de praktijk van beleid en innovatie. Zodra er nieuwe kennis beschikbaar komt, moet gekeken worden wat deze betekent in termen van risico-inschatting, mogelijke beleidsmaatregelen en innovaties. In interdisciplinaire samenwerking binnen publiek-private consortia zullen deze maatschappelijke en economische kansen gerealiseerd worden.

Op basis van de input van vele betrokkenen zijn de belangrijkste aandachtsgebieden en kennisvragen geformuleerd (zie tabel 1 en hoofdstuk 3) en wordt aanbevolen de eerstkomende 5 jaar in te zetten op:

- **Gezamenlijk programmeren vanuit een raamwerk voor health impact assessment.** Het raamwerk is een routekaart van kennis naar oplossingen, maakt inzichtelijk welke kennis prioriteit heeft, en vormt de basis voor voorlopige inschattingen van gezondheidsrisico's en het bepalen van zinvolle maatregelen. Het biedt een basis voor een verdeling van verantwoordelijkheden, rollen en taken van de diverse betrokkenen vanuit beleid, kennisinstututen, bedrijfsleven, en NGO's om te komen tot effectieve (inter)nationale samenwerkingsvormen om mogelijke gezondheidseffecten van microplastics te reduceren.
- **Kennis van gezondheidseffecten.** De enige manier om zo snel mogelijk te bepalen welke van de theoretisch denkbare gezondheidseffecten ook daadwerkelijk een *hazard* betekent, is systematisch onderzoek in diverse modelsystemen (o.a. weefselkweken, proefdieren, lichaamsmateriaal). De allerkleinste deeltjes verdienen daarbij specifieke aandacht, omdat hierover het minst bekend is en de verwachte impact het grootst.
- **Inzetten op verbetering van meetmethoden en meten van blootstelling:** alleen als het gehele spectrum aan deeltjesgroottes en -vormen gemeten kan worden, zijn zinnige uitspraken te doen over gezondheidsrisico's en het effect van innovaties en maatregelen. Dat geldt zowel voor metingen in water en lucht als voor metingen in voeding en in het lichaam (inwendige blootstelling).
- **Werken aan de vertaalslag van modelsystemen naar mens:** hoewel fundamentele kennis onmisbaar is, is een celkweek of een zebra vis natuurlijk geen mens. Er bestaan technieken voor het extrapoleren van zulke modelsystemen naar de mens. Daarnaast zijn epidemiologische en klinische gegevens uiteindelijk onmisbaar voor het inschatten van daadwerkelijke *hazards*.

Om binnen dit veelzijdige thema, waarin nog veel werk verzet moet worden, zo snel mogelijk toepasbare resultaten te genereren, is het belangrijk om aan te sluiten bij andere initiatieven zoals de Kennis- en Innovatieagenda's (KIA's) die ontwikkeld zijn in het kader van het missiegedreven innovatiebeleid van het huidige kabinet, en bij andere nationale en internationale ontwikkelingen gericht op waterkwaliteit, circulariteit en milieu. ZonMw pleit daarbij voor een programma met een looptijd van minimaal 10 jaar met aandacht voor de consortiumvorming en infrastructuur, waarbinnen echter ook aandacht is voor kortlopende projecten om tegemoet te komen aan urgente kennisbehoeften. Door zo'n programma en door onderlinge samenwerking in consortiumverband te bevorderen kan Nederland een belangrijke rol blijven spelen in het onderzoek naar microplastics, ook gebruikmakend van Europese en andere subsidiemogelijkheden. Een programma microplastics en gezondheid past goed in de groeiende aandacht voor de invloed van de leefomgeving op gezondheid, zoals die onder meer naar voren komt in de KIA Circulaire Economie, de KIA Gezondheid en Zorg en de Landelijke Nota Gezondheidsbeleid. In de komende 5-10 jaar zal steeds duidelijker worden of en in welke mate microplastics impact hebben op onze gezondheid en wat we daar vanuit bedrijfsleven, overheid en wetenschap aan kunnen doen.

## Leeswijzer

Deze verkenning is als volgt opgebouwd: in hoofdstuk 1 wordt het probleem uiteengezet en de doelstelling van de verkenning besproken. Er wordt kort ingegaan op de huidige stand van de wetenschap. In hoofdstuk 2 staan de wetenschappelijke kennishiaten en de kennisbehoefte vanuit beleid en innovatie centraal. Hoofdstuk 3 beschrijft in een kennisagenda de belangrijkste prioriteiten voor toekomstig praktijkgericht onderzoek en doet aanbevelingen voor concrete acties.

## Tabel 1

### Aandachtsgebieden en kennisvragen

In deze tabel wordt de kennisagenda samengevat: de aandachtsgebieden met de bijbehorende kennisvragen. Voor een nadere toelichting zie paragraaf 3.1.1 t/m 3.1.6. Zoals in paragraaf 3.2 (Volgorde en urgentie) besproken wordt, zijn nog niet al deze kennisvragen nu al aan de orde. Er is voor het beantwoorden van veel van de onderstaande kennisvragen immers eerst een antwoord op een of meer andere vragen nodig.

---

#### 1 Innovatie en beleid

- welke maatregelen zijn nodig, gericht op de eventuele negatieve gezondheidseffecten van (specifieke categorieën van) microplastics?
- welke maatregelen worden nu al specifiek genomen tegen blootstelling aan microplastics en hoe meten we hun effect (bijvoorbeeld effect van ventilatie op concentratie in binnenlucht, maatregelen rond microplastics in water, et cetera)?
- welke (algemene) maatregelen hebben mogelijk een positief of negatief effect op de blootstelling aan microplastics? Gedacht kan worden aan maatregelen rond fijnstof, waterkwaliteit, bodemkwaliteit, voedselkwaliteit, of op veilige productie en arbeidsomstandigheden.
- hoe kunnen bedrijven en sectoren bijdragen aan het terugdringen van de blootstelling aan microplastics en wat is het effect van bestaande initiatieven, bijvoorbeeld rond de circulaire economie en *Safe by Design*?
- welke economische voordelen zijn te realiseren als bedrijven zich richten op innovatieve oplossingen voor het terugdringen van (specifieke) microplastics?
- (hoe) kan het gedrag van burgers/consumenten zo worden beïnvloed dat er minder microplastics vrijkomen (bijvoorbeeld rijgedrag, omgaan met afval, afwegingen bij de aanschaf van producten)?
- wat zijn de maatschappelijke en economische kosten (bijvoorbeeld ziektelast, productiviteit, milieuschade) die samenhangen met microplastics, met andere woorden welke baten zijn te verwachten bij een gerichte aanpak?
- welke normen kunnen we vaststellen voor concentraties van (specifieke) microplastics in water, lucht, bodem, voeding en andere relevante producten?

---

#### 2 Classificatie en risicobeoordeling

- welke onderdelen van de *health impact assessment* zijn nog onderbelicht?
- (wanneer) is er een voorlopige risico-assessment mogelijk?
- welke gezondheidseffecten horen bij welke microplastics?
- welke microplastics en welke bronnen van microplastics veroorzaken de grootste blootstelling?
- welke microplastics hebben de ernstigste gezondheidseffecten en hoe bereiken zij ons lichaam?
- welke kunststoffen zijn relatief veilig als het gaat om gezondheidsrisico's door microplastics?

---

#### 3 Methoden voor het detecteren en identificeren van microplastics:

- afkomstig van diverse specifieke plastics;
- met uiteenlopende vormen (bolvorm, plat, vezel, etc.);
- met een zo breed mogelijk spectrum van deeltjesgroottes (met extra aandacht voor de zeer kleine deeltjes);
- inclusief de veranderende chemische en microbiële contaminatie;
- in uiteenlopende stoffen en organische matrices;
- met aandacht voor standaardisatie en harmonisatie van meetmethoden in het gehele traject van bemonstering, isolatie, extractie en analyse, referentiematerialen, inclusief kwaliteitsborging in dit traject;
- met (internationale) afspraken over de beste manier om uitkomsten te beschrijven: aantal deeltjes, massa, informatie over vorm en samenstelling, et cetera.

---

#### 4 Blootstelling en toxicokinetiek

- wat is de externe blootstelling (aanwezigheid in het milieu, in buitenlucht, binnenmilieu, drinkwater en voeding)?
  - wat is de interne blootstelling (modellen voor de verspreiding door de diverse compartimenten van het lichaam, accumulatie in specifieke organen en weefsels)?
  - wat zijn de routes, langs welke wegen komen verschillende typen microplastics het lichaam binnen?
  - wat zijn de mechanismen: hoe en in welk tempo verplaatsen verschillende soorten en formaten microplastics zich over de verschillende membranen en barrières in het lichaam (*membrane passage rate*) en wat is hierbij de rol van de corona?
  - wat is de verandering in kenmerken: hoe veranderen de eigenschappen van microplastics afhankelijk van omstandigheden (verschillende externe en interne milieus)?
- 

#### 5 Fundamenteel onderzoek naar gezondheidseffecten

- wat is de deeltjestoxiciteit van verschillende soorten microplastics?
  - wat is de deeltjestoxicologie van de aller kleinste plasticdeeltjes en het toxicologische werkingsmechanisme ervan?
  - wat zijn de chemische effecten en kinetiek van deze effecten bij kleinere deeltjes?
  - wat zijn de microbiologische *hazards* - kunnen microplastics virussen, schimmels, bacteriën of resistentiegenen overdragen en in welke mate gebeurt dat?
  - wat tonen studies met realistische doseringen van milieurelevante (mengsels van) microplastics (diverser, gedegradeerd, verontreinigd, met name ook zeer kleine deeltjes en vezels)?
  - wat zijn de effecten van langdurige (multi-generatie) blootstelling?
  - wat is de rol van de corona buiten en binnen het lichaam?
  - wat blijkt uit de vergelijking met actieve controles (roetdeeltjes, *engineered* nanomaterialen (o.a. zilverpartikels), silicadeeltjes en natuurlijke polymeren zoals chitine en cellulose)?
  - hoe sluiten we aan bij de bredere 'exposoom' benadering die zich richt op de gezondheidseffecten van het geheel van omgevingsfactoren waaraan mensen blootstaan en wat is het aandeel van microplastics daarin?
- 

#### 6 Epidemiologisch onderzoek naar gezondheidseffecten

- wat zijn eventuele beroepsziekten en andere signalen van gezondheidseffecten bij verhoogde blootstelling?
- kunnen we in groepen mensen resultaten uit fundamenteel onderzoek verifiëren?
- wat zijn de lange termijn effecten van microplastics bij de mens, aan de hand van (lopende) cohortstudies?
- wat zijn effecten van microplastics in specifieke doelgroepen met een hoge versus lage blootstelling (zoals langs snelwegen, sociaal-economische gezondheidsverschillen)?
- wat zijn de gevolgen van blootstelling op jonge leeftijd?
- wat is de rol van microplastics bij specifieke (chronische) aandoeningen?



# 1 Achtergrond en doelstelling

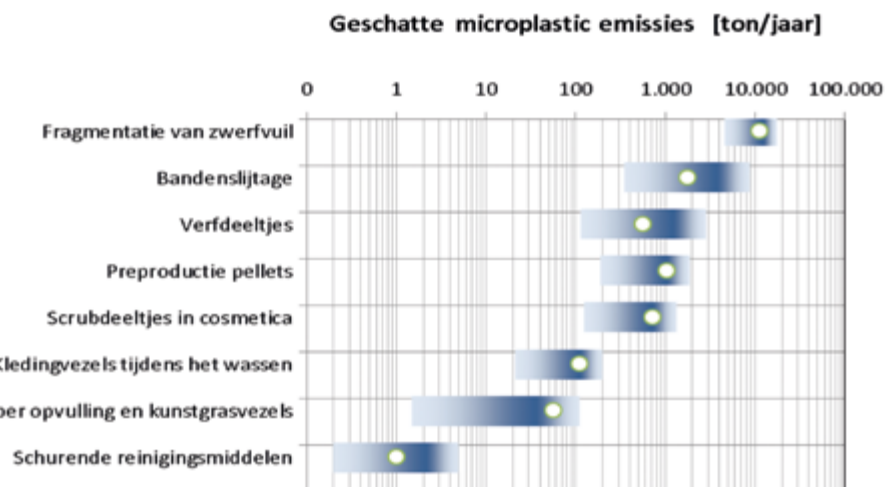
Via de lucht die we inademen, via voeding, water en contact met huid en slijmvliezen staan alle Nederlanders bloot aan kleine plastic deeltjes, microplastics. De hoeveelheid microplastics in het milieu neemt toe, terwijl zij nauwelijks afgebroken worden. In proefdieren worden microplastics opgenomen en veroorzaken zij gezondheidsschade. Hoe groot precies de huidige blootstelling is aan deze plasticdeeltjes en wat hiervan de gezondheidseffecten bij de mens zijn, is nog grotendeels onbekend. Dat maakt het moeilijk om gericht maatregelen te nemen om de Nederlandse bevolking te beschermen en betrouwbaar te informeren. Er is daarom op diverse terreinen meer kennis nodig.

Om meer zicht te krijgen op de impact die microplastics hebben op de gezondheid, nam ZonMw in 2018 het initiatief voor het programma Microplastics & Health. Met dit programma van 15 projecten behoort Nederland wereldwijd tot de voorhoede van een speurtocht naar mogelijke gezondheidseffecten van microplastics.

Er is echter meer nodig om een solide basis te leggen voor beleid. Deze verkenning, in opdracht lenW, laat zien wat er bekend is, waar de belangrijkste kennishiaten zitten en welke zaken prioriteit verdienen vanuit wetenschap, innovatie en beleid. De belangrijkste aanbeveling is om nader Nederlands onderzoek te stimuleren, met oog voor de nodige afstemming, coherentie en doelgerichtheid.

## 1.1 Probleemstelling

Voortdurend belandt een grote hoeveelheid plastic zwerfafval in het milieu. Slijtage en degradatie hiervan vormt een belangrijke bron van microplastics. Tevens ontstaan microplastics door bandenslijtage, verfmiddelen, kledingvezels en door *wear and tear* van plastic voedselverpakkingen en voorwerpen. Naast deze zogeheten secundaire microplastics zijn er primaire microplastics: pellets, poeders en vlokken die als grondstof dienen in de plasticverwerkende industrie, microplastics die bijvoorbeeld worden toegevoegd aan cosmetica en aan schurende reinigingsmiddelen (zie Figuur 1). De hoeveelheden microplastics in het milieu nemen dus toe, en daarmee ook de hoeveelheid die in ons lichaam belandt.



**Figuur 1** Schatting van de hoeveelheden microplastics die jaarlijks vanuit Nederland de weg naar het zeewater vinden, uitgesplitst naar de belangrijkste bronnen. De kolommen laten de onzekerheidsmarge zien; de witte stippen zijn het gemiddelde. Het betreft hier dus uitsluitend de emissie naar zeewater – daarnaast vinden emissies naar bijvoorbeeld grondwater, lucht en bodem plaats. De totale hoeveelheid microplastics die in het milieu belandt, is dus groter. (Bron: RIVM, 2019).

## Lopende ZonMw projecten microplastics en gezondheid

In 2019 is de eerste ronde doorbraakprojecten van het ZonMw Microplastics & Health<sup>1</sup> programma van start gegaan. Het betreft 15 projecten met elk een budget van 100-150k€, een looptijd van 12 maanden en een (door Covid-19 vertraagde) einddatum in het vierde kwartaal van 2020. De huidige doorbraakprojecten vormen een eerste start in het onderzoek naar de gezondheidseffecten van microplastics bij de mens. Zij zijn fundamenteel van aard en vooral gericht op de vraag of en via welke mechanismen microplastics de gezondheid kunnen beïnvloeden.

### Microplastics tot in de organen

Uit één van de studies blijkt dat kleine microplastics in bloed en lymfe wordt teruggevonden nadat muizen ermee zijn gevoed, en dat deze microplastics ontstekingsreacties oproepen. Bij de mens is dit effect nog niet aangetoond, maar eerder humaan onderzoek toonde wel aan dat vergelijkbare andere kleine deeltjes (zoals fijnstof) o.a. het bloed, de hersenen en het vruchtwater kunnen bereiken. De onderzoekers zijn druk bezig de aanwezigheid van microplastics in placenta, vruchtwater en bloed te onderzoeken. Het onderzoek laat effecten zien bij experimenten met menselijk materiaal buiten het lichaam (in vitro): microplastics kunnen de darmwand passeren, worden opgenomen door placentacellen, leiden tot ontstekingsreacties (de basis van vele chronische ziekten), en tot verstoring van de functie van hersencellen en longblaasjes.

Het huidige onderzoek levert belangrijke eerste inzichten op hoe en waar plastics schadelijke effecten kunnen hebben. Voor een goede risico-inschatting is echter aanvullende kennis nodig. De projectleiders van de 15 projecten hebben input geleverd op de verkenning van aanvullende kennisbehoeften die in dit rapport wordt beschreven.

## 1.1.1 Fysische, chemische en microbiologische effecten

Over de gezondheidseffecten van de groeiende hoeveelheid microplastics in onze voeding en in water en lucht is nu nog weinig met zekerheid te zeggen. Het wetenschappelijk onderzoek ernaar is immers nog maar kort geleden van start gegaan. We weten wel dat microplastics in andere zoogdieren in het bloed en in organen worden opgenomen. Proefdieronderzoek laat ook schadelijke effecten zien. Van vergelijkbare kleine deeltjes, zoals roet, is bekend dat zij gezondheidsschade bij de mens kunnen veroorzaken. Het ontbreken van kennis over schadelijkheid bij de mens betekent dus zeker niet dat microplastics veilig voor ons zijn. Microplastics zouden de menselijke gezondheid op drie manieren kunnen beïnvloeden: mechanisch/fysisch, chemisch en microbiologisch.

### Deeltjestoxiciteit

De mechanisch/fysische effecten staan bekend als deeltjestoxiciteit, een verschijnsel dat vermoedelijk vooral optreedt bij zeer kleine deeltjes (deze worden ook wel nanoplastics genoemd<sup>2</sup>). Plasticdeeltjes worden nauwelijks afgebroken en lossen niet op in water of andere stoffen. Afweercellen die hen trachten op te nemen en af te breken, zullen immunologische signaalstoffen (zoals cytokinen) uitscheiden die kunnen leiden tot een chronische ontstekingsreactie. Ook op andere manieren kunnen zeer kleine plasticdeeltjes interfereren met het functioneren van cellen, bijvoorbeeld door het ontstaan van reactieve zuurstofdeeltjes en DNA-schade. Dat deeltjestoxiciteit optreedt, is aannemelijk vanwege parallellen met (andere) nanomaterialen waarbij zulke toxiciteit is aangetoond.

### Chemisch en biologisch

Chemische stoffen die aan de plastics zijn toegevoegd (additieven) of die in het milieu door de microplastics zijn opgenomen, kunnen uiteenlopende toxische effecten hebben wanneer concentraties

<sup>1</sup> <https://www.zonmw.nl/microplastics>

<sup>2</sup> De terminologie en de bijbehorende definities zijn niet altijd eenduidig en met name niet altijd praktisch. Meestal wordt voor microplastics een bovengrens aangehouden van 5 mm. Dat zijn dus nog relatief grote deeltjes, die bijvoorbeeld niet snel via onze darmen opgenomen worden in het lichaam. Voor nanoplastics geldt meestal een bovengrens van 100 nm; de kennishiaten in deze verkenning gelden echter ook vaak voor deeltjes met een diameter tussen 100 nm en 1 µm. Om verwarring te voorkomen hanteren we hier daarom de term microplastics voor alle plasticdeeltjes kleiner dan 5 mm, waarbij in de context van gezondheidseffecten vooral gedacht moet worden aan deeltjes van enkele micrometers of (veel) kleiner.

boven een drempelwaarde komen. Doordat zij gebonden aan microplastics het lichaam binnenkomen, is de kinetiek anders dan wanneer dezelfde stoffen via lucht, voeding of water worden opgenomen. Plastics en microplastics in het milieu kunnen tenslotte drager zijn van bacteriën, virussen en schimmels of componenten ervan zoals DNA-fragmenten (plasmiden) met genen voor antibioticaresistentie of virulentie.

### De 'corona'

Bij al deze effecten moet niet alleen gekeken worden naar het deeltje zelf, maar ook naar de laag materiaal die het deeltje bedekt, de zogeheten corona (geen relatie met de gelijknamige groep virussen). Deze veranderlijke laag is hoogstwaarschijnlijk van invloed op de opname van microplastics in het lichaam, de deeltjestoxiciteit en de reactie van het immuunsysteem. Ook kan de corona chemische verontreinigingen en microbiologische componenten bevatten.

## Gevaar x Blootstelling = Risico



**Figuur 2** Een gevaar kan alleen een risico vormen als er ook blootstelling is. Het gevaar, het negatieve gezondheidseffect wordt ook wel hazard genoemd. Twee belangrijke nuanceringen verdienen nog vermelding: er is bijna altijd sprake van een drempelwaarde, een minimale blootstelling die nodig is voor gezondheidseffecten. En omdat microplastics vrijwel niet worden afgebroken, is de blootstelling in de loop van de tijd relevant.

### 1.1.2 *Health impact*: effect en blootstelling

Voor een risico-inschatting (*health impact assessment*) is naast kennis over mogelijke gezondheidseffecten (*hazards*) bovendien kennis nodig over de blootstelling (zie figuur 2). Bij de genoemde *hazards* (deeltjestoxiciteit, chemische toxiciteit en microbiële effecten) zal immers vrijwel altijd sprake zijn van een dosis/responsrelatie: een meetbaar gezondheidseffect is te verwachten boven een bepaalde drempelwaarde, waarna de ernst van het effect toeneemt met de blootstelling ('dosis').

Ook over de blootstelling is echter nog maar weinig bekend. Er zijn wel studies gedaan naar de aanwezigheid van microplastics in oppervlaktewater en drinkwater, maar binnenmilieu en voeding zijn bijvoorbeeld nog nauwelijks onderzocht. Bovendien zijn de allerkleinste deeltjes met de huidige meetinstrumenten niet te detecteren, terwijl juist deze deeltjes mogelijk diep kunnen doordringen in menselijke weefsels. Voor de gezondheidseffecten is niet alleen de blootstelling van buitenaf van belang, maar vooral de daaropvolgende blootstelling van weefsels en organen in het lichaam en de eventuele accumulatie van microplastics daarin.

### 1.1.3 Een complex vraagstuk

De vraag naar de gezondheidsrisico's van microplastics is eigenlijk een complexe verzameling vragen. Plastic is een verzamelbegrip voor honderden uiteenlopende materialen, waaraan een groot scala aan chemische stoffen is toegevoegd. Microplastics kunnen in grootte variëren van vijf millimeter tot enkele tientallen nanometers en hebben diverse vormen (bolletjes, vezels, vlokken). Zij bereiken ons lichaam langs verschillende routes: via de lucht, via voeding en drinkwater, via contact met huid en slijmvliezen.

Een vergelijkbare mate van complexiteit doet zich voor bij de bronnen van microplastics en de routes waarlangs zij op en in ons lichaam terechtkomen. De route die een deeltje heeft afgelegd voordat het een menselijk lichaam bereikt, kan bovendien relevant zijn voor de chemische en microbiologische 'lading' in de corona.



**Figuur 3** Microplastics zijn divers en variabel; door het ontwikkelen van modellen voor risico-inschatting is het wel mogelijk om de nodige ordening aan te brengen.

### 1.1.4 Pragmatische benadering

Vanuit het oogpunt van beleid is het ontbreken van gedegen kennis een belangrijke belemmering. De hoeveelheid microplastics in ons binnen- en buitenmilieu neemt immers nog steeds gestaag toe. Een pragmatische benadering is daarbij essentieel. Er is kennis nodig die handelingsperspectief biedt en die *informed decisions* mogelijk maakt. Naast fundamentele kennis over gezondheidseffecten van verschillende categorieën microplastics en kennis over blootstelling is het belangrijk om bestaande beleidsmaatregelen onder de loep te nemen. In hoeverre dragen bijvoorbeeld bestaande maatregelen rond waterzuivering, afvalbeheer en andere regelgeving al bij aan een reductie van (mogelijk) riskante microplastics?

## 1.2 Urgentie

De studie naar de gezondheidseffecten en -risico's van verschillende microplastics is relatief jong en er zijn nog grote gebieden die nader onderzoek verdienen (zie ook hoofdstuk 2). Toch is er ook al wel het een en ander te zeggen over de aanwezigheid van microplastics in voeding, drinkwater en lucht en zijn de eerste verkennende stappen gezet op weg naar inzicht in hun gezondheidseffecten, onder andere in het Microplastics & Health programma van ZonMw. Deze kennis is gebundeld in een aantal recente rapporten van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO, 2019), Science Advice for Policy by European Academies (SAPEA, 2019), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM, 2016, 2017) en anderen.

Al deze rapporten benadrukken de urgentie: het is tijd dat we meer betrouwbare kennis verzamelen over blootstelling en gezondheidseffecten van deze stoffen die gemaakt zijn om persistent te zijn, waardoor ze accumuleren, zowel in ons milieu als (waarschijnlijk) in ons lichaam. Microplastics tot aan de huidige detectiegrens van ongeveer 1 µm zijn aangetoond in drinkwater, lucht en een groot aantal voedingsmiddelen. Het is op grond van het bestaande onderzoek waarschijnlijk dat kleinere microplastics kunnen doordringen in de diverse compartimenten van ons lichaam, dat ze opgenomen worden in cellen en bijdragen aan een verhoogde neiging tot ontstekingen. Een samenvatting van de stand van de wetenschap is te vinden in de kadertekst op pagina's 14-16.

## 1.3 Afbakening

In deze verkenning staan de gezondheidsrisico's bij de mens als gevolg van microplastics centraal. Omdat een risico te berekenen is uit de combinatie van blootstelling en effect, gaat het enerzijds om het verkrijgen van meer inzicht in de gezondheidseffecten van microplastics en anderzijds in de (externe en interne) blootstelling aan verschillende microplastics in de loop van de tijd. Deze kennis is nodig bij het ontwikkelen van beleid om de (Nederlandse) bevolking optimaal te beschermen. De nadruk ligt dus op het vinden van aanknopingspunten voor gerichtere preventie dan de huidige op voorzorg gebaseerde maatregelen. Hoewel in deze verkenning dus de Nederlandse situatie centraal staat, betreft het een mondiaal probleem en zijn de belangrijkste conclusies ook relevant voor het internationale onderzoek naar microplastics en gezondheid.

De problematiek van plastic en microplastics omvat uiteraard veel meer dan alleen de gezondheidseffecten bij de mens. Er kan bijvoorbeeld ook naar gekeken worden vanuit economie en samenleving, chemie en productie, consumptie en gedrag, biologie en ecologie. Sommige van deze benaderingen kunnen ook bijdragen aan preventie en voorzorg. Zo kunnen bijvoorbeeld vanuit de Topsector Chemie oplossingen worden aangedragen op het gebied van productieprocessen en het ontwerp van nieuwe plastics, en kunnen initiatieven op het gebied van de circulaire economie leiden tot een reductie van het plastic zwerfafval. Bij uiteenlopende beslissingen, variërend van de keuze van het wegdek tot het ontwikkelen van verpakkingen, in de waterzuivering, de landbouw en het ontwerp van wasmachines zou meer rekening gehouden kunnen worden met de reductie van microplastics. Dat is belangrijk, en daar is soms ook wetenschappelijk onderzoek bij nodig.

ZonMw richt zich hier echter primair op onderzoek dat rechtstreeks te maken heeft met biomedische, epidemiologische en preventiegerichte vraagstellingen. Deze zullen dan ook centraal staan in deze verkenning en kennisagenda.

## 1.4 Doelstelling en werkwijze

Het doel van deze verkenning is richting te geven aan wetenschappelijk onderzoek naar de gezondheidseffecten van microplastics door het opstellen van een kennisagenda die enerzijds aansluit bij de kennisbehoefte in beleid en praktijk en anderzijds bij de huidige wetenschappelijke mogelijkheden en kansen. Het aanbrengen van prioriteiten staat daarbij centraal. Wat we willen weten en wat we kunnen meten zijn helaas nog (zeer) verschillende zaken.

Deze verkenning beoogt wetenschap, innovatie en beleid rond microplastics en gezondheid dichter bij elkaar te brengen. Om zicht te krijgen op de stand van zaken in de wetenschap is gebruik gemaakt van de vakliteratuur en recente rapporten (zie bijlage 1). Verscheidene wetenschappers

hebben bijgedragen aan de kennissynthese in dit hoofdstuk en aan de inventarisatie van kennishiaten in hoofdstuk 2. In een serie interviews is de kennisbehoefte in beleid en praktijk geïnventariseerd, aangevuld met een internetconsultatie. De prioritering heeft plaatsgevonden in samenspraak met een afvaardiging uit wetenschap, beleid en praktijk (voor meer informatie over de werkwijze en de betrokken organisaties, zie bijlagen 2 en 3).

## Gezondheid en microplastics: wetenschappelijk onderzoek tot nu toe

Milieuwetenschappers verdiepen zich al langer in de effecten van microplastics op diverse organismen. Aandacht voor de gezondheidseffecten neemt de laatste jaren toe, zoals blijkt uit recente rapporten van WHO, SAPEA en RIVM (zie literatuurlijst). Op deze pagina's worden de belangrijkste bevindingen tot dusver opgesomd. In het volgende hoofdstuk staan de kennishiaten en de kennisbehoefte centraal.

### Blootstelling en meetmethoden

#### Voeding

Microplastics zijn gemeten in diverse voedingsmiddelen (o.a. Van Raamsdonk 2020). Aangezien in het onderzoek naar microplastics tot dusver de nadruk heeft gelegen op ecologische studies, zijn de meeste data verzameld in producten uit de zee; in vis, garnalen en met name in schelpdieren zijn microplastics aangetroffen. Over de accumulatie van microplastics in de voedselketen is nog relatief weinig bekend (Toussaint 2019). Ook in uiteenlopende producten, zoals suiker, zout, fruit, groenten, honing en bier zijn microplastics gemeten – waarbij overigens soms sprake is van matige kwaliteitsborging in deze studies.

#### Waterflesjes

Een bekende bron van microplastics zijn plastic waterflesjes; in water uit deze flesjes bevinden zich vele duizenden microplasticdeeltjes. Metingen van de deeltjesgrootte laten zien dat veel deeltjes kleiner zijn dan 25 µm, zodat de mogelijkheid bestaat dat zij via de darm in het lichaam worden opgenomen. Voor veel voedingsmiddelen ontbreken nog gegevens.

Er zijn aanwijzingen dat een klein deel van de microplastics die dagelijks langs orale weg het lichaam binnenkomen, via de darm wordt opgenomen in het lichaam. In de loop van een mensenleven kan zo toch een aanzienlijke hoeveelheid microplastics in het lichaam accumuleren, afhankelijk van de (onbekende) uitscheiding via gal (feces) en urine. De microplastics die het maag-darmkanaal passeren zonder opgenomen te worden, kunnen ook gezondheidseffecten hebben, door rechtstreekse effecten op darmcellen, afgifte of resorptie van chemische stoffen en het overbrengen van biologische ziekteverwekkers. Ook zijn er aanwijzingen dat zij van invloed zijn op het microbioom in de darm.

#### Lucht

Over de blootstelling via de lucht beginnen gegevens binnen te komen. Het is bekend dat fijnstof gezondheidsklachten kan veroorzaken; een klein maar waarschijnlijk groeiend deel van het fijnstof bestaat uit microplastics. De belangrijkste bronnen zijn slijtage van autobanden en vezels afkomstig van kunststof kleding. Met name die vezels kunnen in het binnenmilieu relatief veel voorkomen. De luchtwegen zijn in principe goed in staat om stofdeeltjes naar buiten te transporteren (waarna ze wellicht alsnog in het maag-darmkanaal belanden). Onderzoek bij textielarbeiders laat echter zien dat microplastics diep in de longen kunnen doordringen en daar aantoonbare effecten hebben, onder andere ontstekingsreacties. Er zijn aanwijzingen dat microvezels het ademhalingsstelsel irriteren en allergische reacties opwekken (RIVM<sup>3</sup>).

---

3 [www.rivm.nl/microplastics/nieuwe-kennis-over-microplastics-in-lucht](http://www.rivm.nl/microplastics/nieuwe-kennis-over-microplastics-in-lucht)

## Meetmethoden

Er zijn verschillende technieken om microplastics aan te tonen, elk met eigen bruikbaarheden en beperkingen. Analysetechnieken die vaak worden gebruikt voor de identificatie van kunststoffen zijn onder andere Fourier transform infraroodmicroscopie (FTIR), Raman spectroscopie en gaschromatografiemassaspectrometrie (GC-MS) na verhitting. Bij de laatstgenoemde methode wordt geen informatie verkregen over de afmeting en de vorm van de deeltjes. Een eventuele corona wordt met geen van de genoemde methoden adequaat onderzocht. De ondergrens van detectie is 1-5 µm, afhankelijk van de gebruikte apparatuur.

## Opname in het lichaam en biologische effecten

In beginsel zijn er twee manieren om de gezondheidseffecten van microplastics te bestuderen: door de blootstelling, en de gevolgen ervan in groepen mensen te onderzoeken (epidemiologie) en door proefdieren of weefselkweken bloot te stellen aan microplastics (toxicologie). In weefseltoxicologisch onderzoek kunnen de verschillende variabelen goed gecontroleerd worden. Zo zijn de toegediende deeltjes betrouwbaar te karakteriseren en definiëren. Tot dusver is vaak gebruik gemaakt van commercieel verkrijgbare polystyreenkorrels, die in verschillende diameters beschikbaar zijn. Polystyreen nanopartikels kunnen in het laboratorium gesynthetiseerd worden. Met deze aanpak zijn interessante eerste resultaten verkregen, al is de generaliseerbaarheid omstreden. Onderzoek in proefdieren laat zien dat na kortdurende blootstelling aan hoge concentraties microplastics accumulatie plaatsvindt in diverse weefsels en organen. Veel onderzoek is gedaan bij zeedieren, vanuit een ecologische invalshoek, maar ook traditionele zoogdiermodellen en onderzoek bij de zebra vis tonen deze accumulatie.

### Verhoogde ontstekingsneiging

Er zijn verscheidene rechtstreekse en indirecte aanwijzingen voor schadelijke fysische effecten van plasticdeeltjes (deeltjestoxiciteit). Microplastics worden niet afgebroken in het lichaam. Opname in afweercellen (fagocyten) leidt daarom tot constante activatie zonder effect op de deeltjes. Dat heeft diverse ongewenste effecten waaronder oxidatieve stress, de vorming van granulomen en reuscellen en de afgifte van diverse cytokinen die leiden tot ontstekingsreacties. Ontstekingen zijn in proefdieren gezien, maar ook bij mensen die een kunststof implantaat dragen dat door slijtage microplastics in het lichaam afgeeft. Een verhoogde ontstekingsneiging (ook een bekend gevolg van fijnstof) is een risicofactor voor diverse aandoeningen, waaronder hart- en vaatziekten.

### Effecten in cellen

De allerkleinste microplastics kunnen in cellen doordringen en uiteenlopende verstoringen veroorzaken, waaronder oxidatieve stress. In vissen is aangetoond dat polystyreenpartikels tot in de hersenen kunnen doordringen, met aantoonbare effecten op de neurofysiologie en het gedrag. Ook bij muizen is dit gevonden, na blootstelling via de neus. Dat maakt het aannemelijk dat dit verschijnsel ook bij de mens kan optreden, al is dit niet met zekerheid bekend.

### Chemische stoffen

Over de schadelijke effecten van additieven die vaak aan plastics worden toegevoegd, is al het een en ander bekend. Bisfenol A bijvoorbeeld, een stof die veel wordt toegepast bij de productie van plastics en kunsthar, heeft een breed scala aan ontregelende effecten in het lichaam, mede doordat het de werking van verscheidene hormonen verstoort. Vergelijkbare ongunstige effecten zijn aangetoond voor weekmakers (ftalaten). Uit microplastics kunnen bovendien kankerverwekkende monomeren zoals propyleenoxide en vinylchloride vrijkomen, stoffen die zijn achtergebleven tijdens het productieproces, of vrijkomen als gevolg van degradatie van de plastics. Minder duidelijk is om welke hoeveelheden van zulke stoffen het gaat, en in hoeverre door microplasticdeeltjes lokaal een hoge concentratie kan ontstaan, vergelijkbaar met de afgifte van geneesmiddelen door nanoplastics. Ook kunnen in het milieu diverse stoffen zich aan microplastics hechten, die vervolgens in de darm of in het lichaam vrijkomen. Opname door microplastics kan ook een gunstig effect hebben, doordat chemische stoffen gemakkelijker via de ontlasting worden uitgescheiden.

### Ziekteverwekkers in de corona

Microplastics vormen een nieuw en uniek element in het milieu. De corona die zich op microplasticdeeltjes vormt, blijkt een rijke bron te zijn van bacteriën, waaronder relatief veel opportunistische pathogenen. Hoe stabiel deze corona is, is evenwel nog niet goed bekend. Ook is nog onduidelijk in hoeverre daadwerkelijk overdracht van antimicrobiële resistentie plaatsvindt binnen deze corona (Skare 2019) en in hoeverre ook virussen, schimmels en toxines via microplastics verspreid worden.

### Medische en cosmetische toepassingen

Om meer te begrijpen van de kinetiek van chemische stoffen die zijn gekoppeld aan microplastics, is het zinvol om gebruik te maken van de groeiende kennis rond bewuste toepassingen van uiteenlopende nanodeeltjes (*engineered nanomaterials*, waaronder plastics) in de farmacologie. Al sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw worden zulke zeer kleine deeltjes (meestal kleiner dan 100 nm) ingezet om geneesmiddelen gericht naar een doelwit te brengen of om de afgifte van geneesmiddelen in het maag-darmkanaal te vertragen. De laatste jaren worden hiervoor afbreekbare plastics gebruikt.

Er zijn farmacokinetische modellen ontwikkeld waarmee de afgifte van diverse stoffen vanuit deze gefunctionaliseerde nanopartikels in verschillende orgaansystemen voorspeld kan worden (Yuan 2019). Ook hebben farmaceutische bedrijven onderzoek verricht naar de mogelijke gezondheidseffecten van de nanodeeltjes zelf op de gezondheid van hun medewerkers en consumenten. Hoewel het hier dus gaat om zeer specifieke microplastics, die ontwikkeld zijn met een bepaald doel, vormen dit soort studies en modellen een welkome aanvulling op het beperkte aanbod aan onderzoek naar gezondheidseffecten van microplastics en de chemische stoffen die ze bij zich dragen.

# Microplastics

## Kleine plastic deeltjes in ons lichaam. Wat zijn de effecten?

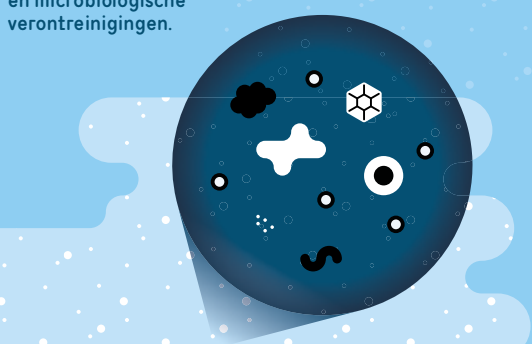
### Waar komen microplastics vandaan?

Microplastics ontstaan door slijtage van plastic producten en degradatie van zwerfafval. Daarnaast komen ze vrij bij productie, distributie en gebruik van gefabriceerde microplastics.



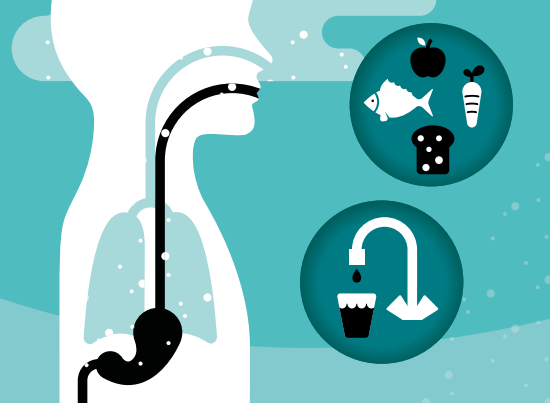
### Microplastics in diverse vormen en samenstellingen

Vormen van bolletjes tot vezels. Van zichtbaar met het blote oog, tot onzichtbaar. Divers in polymeer-samenstelling en bedekt met uiteenlopende chemische en microbiologische verontreinigingen.



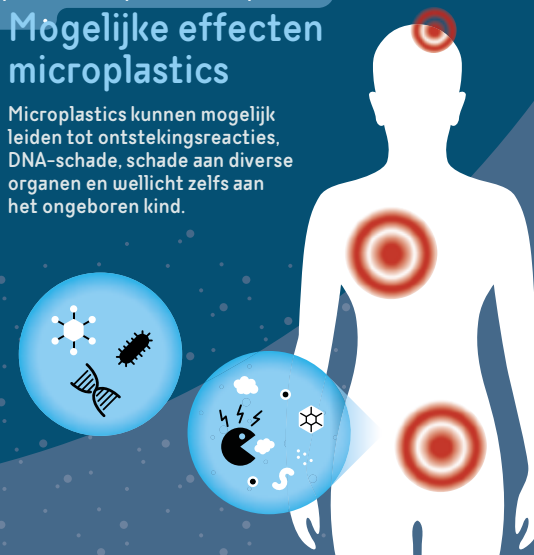
### Microplastics in ons lichaam

Microplastics komen via de lucht die we inademen, maar ook via voeding en drinkwater in ons lichaam terecht.



### Mogelijke effecten microplastics

Microplastics kunnen mogelijk leiden tot ontstekingsreacties, DNA-schade, schade aan diverse organen en wellicht zelfs aan het ongeboren kind.





# 2 Kennishiaten en kennisbehoefte

Overheid en bedrijfsleven hebben kennis nodig om maatregelen en innovaties te onderbouwen en te evalueren. Vanuit het voorzorgbeginsel wordt nu al gestreefd naar het beperken van (micro-) plastics in water, lucht en bodem. Desondanks zal de blootstelling in de komende jaren toenemen, door verdere verwerking van kunststof materialen in het milieu en de voortdurende productie van plastic. Om effectiever beleid te voeren, is het van groot belang om meer en specifiekere kennis te hebben over blootstelling en gezondheidseffecten van de verschillende microplastics.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste kennishiaten benoemd zoals die naar voren komen uit de vakliteratuur en gesprekken met sleutelfiguren uit wetenschap, bedrijfsleven en overheid. In het volgende hoofdstuk zal een prioritering worden aangebracht.

## 2.1 Blootstelling en meetmethoden

Zoals al geïllustreerd in Figuur 2 is voor een inschatting van het daadwerkelijke gezondheidsrisico kennis over twee zaken cruciaal: blootstelling en gezondheidseffecten (zie 2.2). In deze paragraaf gaat het over het meten van de uitwendige en inwendige blootstelling, de belangrijkste uitdagingen, de noodzaak tot standaardisatie, mogelijke indicatoren voor blootstelling en het belang van mathematische modellen en theorievorming.

### **Uitwendige blootstelling**

Het meten van de blootstelling is om verschillende redenen moeilijk. Het probleem begint met het aantonen van microplastics in lucht, drinkwater, voedingsproducten en andere routes waarlangs zij ons lichaam kunnen binnendringen. Het blijkt buitengewoon moeilijk te zijn om hier een compleet en betrouwbaar beeld van te krijgen. Het is bijvoorbeeld niet goed bekend welke fractie van het fijnstof in de lucht bestaat uit microplastics. Ook kunnen waterfilters slechts een deel van de microplastics in oppervlaktewater, drinkwater en afvalwater opvangen. Onbekend is hoe veel (zeer kleine) deeltjes in die verschillende compartimenten terechtkomen. De aanwezigheid in voeding is een grote onbekende; over de eventuele accumulatie van microplastics in de voedselketen is nog weinig met zekerheid bekend.

### **Inwendige blootstelling**

Het bestuderen van de inwendige blootstelling en de toxicokinetiek is nog complexer. De diversiteit van de deeltjes zelf en de chemische en microbiële contaminanten in hun 'corona' dragen hieraan bij. Over microplastics in het menselijk lichaam is bijvoorbeeld nog niet goed bekend hoeveel deeltjes dagelijks worden opgenomen, hoe zij zich verdelen over het lichaam, of accumulatie plaatsvindt en zo ja in welke organen, en in welke mate deeltjes ook weer worden uitgescheiden. Evenmin is duidelijk welke eigenschappen van de deeltjes (vorm, elektrische lading, corona, chemische samenstelling) bij deze processen rol spelen. Of in welke weefsels en organen zij het meeste voorkomen.

### **Uitdagingen**

Op sommige gebieden ontbreekt het momenteel nog aan adequate methoden. Zo kunnen kleine deeltjes niet lichtmicroscopisch worden waargenomen of op andere manieren worden aangetoond, zeker zolang ze in een (complexe) matrix zitten. Die grens ligt rond de 1  $\mu\text{m}$ . Dat geldt zowel in lucht, water en voeding als in het menselijk lichaam. Bij het isoleren en extraheren van microplastic deeltjes uit een complexe matrix zoals voeding, weefsels of fijnstof in de lucht gaat bovendien vaak informatie verloren over de geadsorbeerde chemische stoffen en de corona om het deeltje heen.

### Standaardisatie

Om de externe en interne blootstelling beter in kaart te kunnen brengen (*biomonitoring*), is standaardisatie van meetmethoden een belangrijke voorwaarde. Dat geldt voor het gehele traject van bemonstering, isolatie, extractie en analyse. Ook over de maat waarin blootstelling wordt uitgedrukt, zijn afspraken nodig. Bij grotere deeltjes is de (totale) massa waarschijnlijk het meest relevant, bij de allerkleinste deeltjes is hun aantal relevanter voor de verwachte biologische effecten.

### Indicatoren

Naarmate er preciezere metingen mogelijk worden, wordt de vraag van belang wat een goede indicator is voor (relevante) microplastic-verontreiniging. Niet alle deeltjes zullen immers evenveel risico met zich meebrengen. Hier zijn praktische oplossingen voor denkbaar, zoals bijvoorbeeld nu al gebeurt bij polyaromatische koolwaterstoffen (PAKs) in drinkwater. PAKs zijn een verzameling van zeer veel stoffen met uiteenlopende toxiciteit. Door een zevental PAKs te meten, kan een betrouwbare indruk worden verkregen van de waterkwaliteit. Kenmerk van zo'n indicator is dat het een veelvoorkomende stof is, met relatief een groot risico. Verder zijn er veel overeenkomsten met nanomaterialen en zou ook vanuit dat domein kennis moeten worden betrokken om toe te passen op het microplastics dossier.

### Modellen, theoriën en classificatie

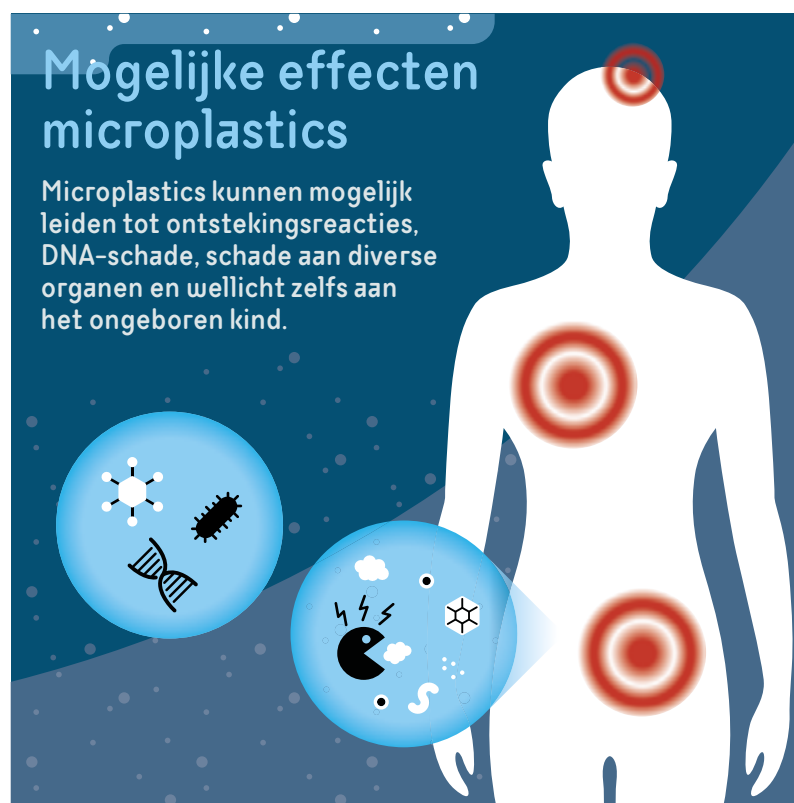
Zodra er meer kennis beschikbaar komt, dienen er wiskundige modellen te worden ontwikkeld waarin experimentele en epidemiologische gegevens over blootstelling, toxicokinetiek, accumulatie en dergelijke (zie ook 2.2) een plaats kunnen krijgen. Daarnaast is theorievorming belangrijk bij het hanteren van de enorme diversiteit in microplastics. Een stap in die richting is een recent gepubliceerd classificatiesysteem voor microplastics op grond van grootte, vorm en dichtheid dat de eerdergenoemde complexiteit van microplastics in het milieu wat hanteerbaarder maakt (Kooi en Koelmans 2019). Zulke theorieën en modellen zullen steeds realistischer en relevanter worden naarmate uit objectieve metingen meer gegevens bekend worden. Vanuit inzicht in de effecten en werkingsmechanismen kan beter worden bepaald welke typen en klassen van deeltjes verantwoordelijk zijn voor bepaalde gezondheidseffecten. Met een *worst case* benadering kan worden bekeken, welke risico's nader onderzoek verdienen en welke risico's ook bij de meest ongunstige aannames te verwaarlozen zijn.

## 2.2 Gezondheidseffecten in model-systemen, individuen en groepen

Een ander veelgenoemd kennishiaat betreft de gezondheidseffecten (*hazards*). Inzicht in mogelijke gezondheidseffecten van microplastics en de achterliggende mechanismen kan komen uit systematisch toxicologisch onderzoek in modelsystemen (*ex vivo* en *post mortem* op lichaamsmateriaal, *in vitro* in weefselkweken en organoïden, *in vivo* in proefdieren). Er is nog niet zoveel onderzoek verricht naar reëel in het milieu voorkomende microplastics, bijvoorbeeld vlokken en vezels van verschillende plasticsoorten met verschillende verontreinigingen. De verkennende studies tot dusver maakten veelal gebruik van schone polystyreenbolletjes. Er kan sprake zijn van omgevingskinetiek, waardoor hetzelfde plastic andere effecten heeft in verschillende milieus.

### De corona

Ook de rol van de eerdergenoemde corona is nog maar ten dele onderzocht. De samenstelling ervan is verschillend in het milieu, in het maag-darmkanaal of de longen en in het lichaam. Naast mogelijke microbiële componenten bevat de corona eiwitten, vetten en andere organische stoffen, waarin zich metalen, toxinen en andere stoffen kunnen bevinden. Het is aannemelijk dat de corona een rol speelt bij de toxicokinetiek (opname in het lichaam, passage van andere membranen, opname in cellen) en bij eventuele immunologische reacties. Ook bij de genoemde chemische en microbiologische effecten speelt de corona vermoedelijk een sleutelrol.



### Aandacht voor de kleinste deeltjes

Van de allerkleinste deeltjes is het aannemelijk dat zij zowel deeltjestoxicologisch als toxicokinetisch heel ander gedrag vertonen dan grotere deeltjes. Onbekend is verder of er mogelijk sprake is van effecten die (bijvoorbeeld via epigenetische veranderingen) overgedragen worden op volgende generaties.

### Vergelijking met andere materialen

Deze kennisbehoefte werd zowel vanuit beleid, praktijk en onderzoekers genoemd. Om na te gaan in hoeverre de gevonden effecten specifiek zijn voor microplastics, kunnen de effecten van verschillende microplastics worden vergeleken met positieve controles, andere (slecht oplosbare) deeltjes zoals roetdeeltjes, engineered nanomaterialen (o.a. zilverpartikels), silicadeeltjes en natuurlijke polymeren zoals chitine en cellulose. Zo'n vergelijking heeft ook praktische consequenties voor het beleid, bijvoorbeeld rond de microplastics component van fijnstof of in de discussie met producenten van verschillende materialen.

### Epidemiologische studies

Er is behoefte aan epidemiologische studies die kunnen aantonen in hoeverre de gezondheidstoestand van groepen verband houdt met hun (gemeten of geschatte) blootstelling aan microplastics. Ook zonder verfijnde meetmethoden is het mogelijk om groepen die hoogstwaarschijnlijk blootstaan aan verhoogde concentraties microplastics (werknemers in de plastic- en kledingindustrie en andere sectoren met verhoogde blootstelling, bewoners van wijken die dicht bij een fabriek of snelweg liggen) te vergelijken met groepen met een (vermoedelijk) lage gemiddelde blootstelling. Het zal daarbij wel een uitdaging zijn om het effect van microplastics te onderscheiden van andere variabelen (sociaaleconomische status, leefstijl, fijnstof, etc.).

### Doelgroepen

Bij epidemiologische studies kan ook aandacht besteed worden aan kwetsbare groepen zoals kinderen. Hun blootstelling kan anders zijn, doordat zij bijvoorbeeld meer met huisstof in aanraking komen, meer in hun mond stoppen, vaker sporten op kunstgrasvelden, et cetera. Wanneer er sprake zou zijn van langetermijneffecten van microplastics, verdient kinderen extra aandacht uit het oogpunt van preventie. Zodra meer bekend is van de effecten van microplastics op specifieke

orgaansystemen, zouden ook patiënten met bepaalde chronische aandoeningen speciale aandacht verdienen. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan chronische long- en luchtwegaandoeningen, chronische darmontsteking, huidaandoeningen en systeemziekten.

### **Biomarkers**

Aan mechanistische studies in modelsystemen kunnen wellicht (bio)markers worden ontleend die zo specifiek mogelijk zijn voor de gezondheidseffecten van microplastics. Daarbij kan gedacht worden aan specifieke profielen in de immuunreactie. Die zouden vervolgens gebruikt kunnen worden in epidemiologische studies, bijvoorbeeld gericht op mensen met ontstekingsziekten van darm of long. Vooralsnog is overigens niet bekend of er sprake is van plastic-specifieke reacties of dat er een meer generieke reactie optreedt op slecht oplosbare kleine deeltjes. Fundamentele studies kunnen wellicht ook markers opleveren voor het meten van de blootstelling aan microplastics of slecht oplosbare deeltjes in het algemeen.

## 2.3 Welke (bronnen van) microplastics veroorzaken het grootste gezondheidsrisico?

Voor bedrijfsleven en overheid is de vraag relevant, welke (bronnen van) microplastics de grootste risico's met zich meebrengen. Het gaat hierbij dus om een pragmatische vraagstelling, die uiteenvalt in enkele deelvragen: welke microplastics en welke bronnen van microplastics veroorzaken de grootste blootstelling en welke (bronnen van) microplastics hebben de ernstigste schadelijke effecten voor de mens en milieu? Bij de huidige stand van de wetenschap is het nog niet mogelijk om deze deelvragen adequaat te beantwoorden. Voor een inschatting van de gezondheidseffecten van de meest voorkomende microplastics zijn toxicologische studies, modelstudies en epidemiologische studies nodig (zie 2.2), naast onderzoek naar blootstelling (2.1).



Bij het onderzoek naar routes waarlangs microplastics ons lichaam bereiken, heeft tot dusver sterk de nadruk gelegen op de aanwezigheid van microplastics in zee- en oppervlaktewater. Aandacht

daarvoor blijft uiteraard belangrijk, ook vanuit ecologisch oogpunt, maar er bestaat nog een kennisachterstand over microplastics die via andere routes, zoals atmosferische depositie, grondwater en bodem in onze voeding of drinkwater belanden. Zo is recentelijk aangetoond dat microplastics via grondwater en bodem in sla en andere landbouwgewassen kunnen belanden (Li e.a. 2020). Bij sommige microplastics is eenzijdig gekeken naar een bepaald risico. Zo is al veel onderzoek verricht naar de chemische risico's van rubbergranulaat op kunstgrasvelden, maar is de deeltjestoxiciteit ervan nog onvoldoende in kaart gebracht.

## 2.4 Wat is de bijdrage van maatregelen en procedures?

Voor een gerichte aanpak in beleid en innovatie is niet alleen wetenschappelijke kennis nodig over alle verschillende aspecten van gezondheidsschade door microplastics, maar ook over de effecten van bestaande maatregelen en oplossingen en de raakvlakken met andere problemen.

### Beleid en regelgeving

Ook bij de huidige beperkte wetenschappelijke kennis over microplastics en gezondheid, worden al maatregelen genomen vanuit het voorzorgsbeginsel. Naarmate er meer bekend wordt over blootstelling en eventuele gevolgen van verschillende microplastics, kunnen aan de hand van gezondheidseffecten en milieueffecten normen worden opgesteld voor concentraties in diverse compartimenten.

Zowel in Nederland als op Europees niveau zijn er steeds meer afspraken en regels die moeten voorkomen dat plastics en microplastics in het milieu belanden. Een voorbeeld is de voorgenomen regelgeving in het kader van het Europese REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) die de bewuste toevoeging van microplastics voor diverse toepassingen gaat verbieden. Op Europees niveau toont de Europese Green Deal ambities voor een 'zero pollution action plan for air, water and soil', als een startpunt voor nieuw plasticsbeleid. De EU Kaderrichtlijn Mariene Strategie biedt een basis om vervuiling van oceanen te voorkomen. In Nederland zijn in dat kader de Green Deal Scheepsafvalketen, de Green Deal Visserij, en de Green Deal Schone Stranden afgesloten. Ook de gezondheidszorg draagt bij via de Green Deal 'Nederland op weg naar Duurzame zorg'.

Binnen de Delta-aanpak Waterkwaliteit en Zoetwater (IenW) wordt ingezet op reductie van (plastic) zwerfafval en het voorkómen van de emissie van microplastics uit autobanden, textiel, verf en schurende reinigingsmiddelen. In dat kader zijn onder meer afspraken gemaakt met het bedrijfsleven over microplastics in cosmetica, wordt gewerkt aan een ketenaanpak voor microplastics uit textiel en neemt het bedrijfsleven maatregelen om verlies van plastic pellets vanuit de plastics keten naar het milieu te voorkómen (operatie Clean Sweep). Ook worden aanvullende maatregelen getest om de hoeveelheid zwerfafval in de rivieren terug te dringen voorkomen, bijvoorbeeld *pilots* met vangarmen en gedragsinterventies (Beleidsprogramma Microplastics, 2018<sup>4</sup>). IenW staatssecretaris Van Veldhoven heeft het Plastic Pact NL gesloten en het Europese Plastic Pact gelanceerd, met als doel dat in 2025 alleen nog recyclebaar en herbruikbaar plastic wordt gebruikt door de industrie. Daarnaast zet ze met het verpakkingen- en circulaire economie beleid in op verdere verduurzaming van de kunststofketen.

De bijdrage van deze maatregelen aan de reductie van microplastics en de eventuele effecten op de volksgezondheid is nog niet geëvalueerd. Vanuit VWS wordt beleid ontwikkeld met het oog op een gezonde leefomgeving (o.a. Preventieakkoord, Missiegedreven innovatiebeleid) en voedsel- en productveiligheid.

### 'Meekoppeling' met andere terreinen

Beleid op andere terreinen kan ook effecten hebben op microplastics. Het ligt in de rede dat de blootstelling aan microplastics beïnvloed wordt door maatregelen en procedures die gericht zijn op fijnstof, waterkwaliteit, bodemkwaliteit, voedselkwaliteit, of op veilige productie en arbeidsomstan-

---

4 <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-30872-219.html>

digheden. Door deze bijdragen te onderzoeken, kan bestaand en toekomstig beleid wellicht effectiever worden gemaakt voor het terugdringen van de blootstelling aan microplastics. Ook kan gekeken worden of de (keten)aanpak in vergelijkbare dossiers, zoals het beperken van geneesmiddelconcentraties in het water, nuttig kan zijn voor het terugdringen van microplastics.

### Consumenten

Voor het terugdringen van de blootstelling aan microplastics speelt verder het gedrag van burgers/consumenten een belangrijke rol. Zo zijn bijvoorbeeld rijgedrag, verkeersdeelname en onderhoud van invloed op het ontstaan van fijnstof en bandenslijtage, belandt niet-afbreekbaar plastic via het GFT afval in de compost en moet dan weer verwijderd worden en is zwerfafval natuurlijk een belangrijke bron van microplastics. Ook het consumptiegedrag is van invloed, bijvoorbeeld de aanschaf van duurzame producten in plaats van plastic wegwerpartikelen. Een vraag is in hoeverre dit gedrag te beïnvloeden is met overheidsmaatregelen zoals de invoering van statiegeld op kleine PET-flessen, naast indirecte beïnvloeding via de media. Onder meer het RIVM, Milieu Centraal, Natuur en Milieu, de Plastic Soup Foundation en de Plastic Soup Surfer dragen bij aan bewustwording bij een breed publiek.

### Bedrijven

Bedrijven en sectoren kunnen bijdragen aan het terugdringen van de blootstelling aan microplastics. Onderzoek kan deze inspanningen effectiever maken. Daarbij kan ook gekeken worden naar effect van bestaande initiatieven, bijvoorbeeld rond de circulaire economie en *Safe by Design*. Een voorbeeld van dat laatste zou zijn dat kleding wordt ontworpen die minder microvezels afgeeft en dat er geen schadelijke stoffen meer worden gebruikt in de kledingproductie. Het ontwikkelen van betere en verfijnere meetmethoden is een belangrijke stap, waaraan ook vanuit het bedrijfsleven kan worden bijgedragen. Verscheidene onderzoeksgroepen richten zich op het ontwikkelen van zulke meetmethoden, ook bijvoorbeeld binnen de Topsector Chemie. In het kader van het missiegedreven innovatiebeleid van het kabinet spreekt men van Sleuteltechnologieën en -methodologieën.

### Onbedoelde effecten

Nieuwe uitdagingen ontstaan door de ontwikkeling van biologisch afbreekbare plastics, alternatieven voor plastics en recycling. Uiteindelijk zullen zulke nieuwe materialen en benaderingen de blootstelling hopelijk verminderen. Op zoek naar de perfecte oplossing zullen echter ook soms ongewenste 'bijwerkingen' ontstaan, zodat deze nieuwe ontwikkelingen kritisch gevolgd moeten worden. Een verpakking kan goed afbreekbaar zijn in een composteerinstallatie bij relatief hoge temperatuur, maar wat gebeurt er wanneer de consument deze verpakking op de eigen composthoop legt of in het milieu weggooit? Welke microplastics ontstaan tijdens het proces van 'biologische afbraak' van afbreekbare plastics? Wat zijn de materiaaleigenschappen van gerecyclede plastics en wat zijn de gevolgen daarvan voor de blootstelling aan microplastics? Hoe wordt voorkomen dat bij recycling giftige additieven uit het oorspronkelijke plastic in het recycelaat belanden? Juist nu er dankzij convenanten met het bedrijfsleven actiever gezocht wordt naar oplossingen, blijft het van groot belang om de gevonden oplossingen ook wetenschappelijk tegen het licht te houden.

## 2.5 Milieueffecten en andere vraagstellingen

Zoals gezegd is deze verkenning met name gericht op de gezondheidseffecten van microplastics. In de gesprekken met wetenschappers en beleidsmakers kwamen uiteraard ook relevante onderzoeksvragen aan de orde die niet rechtstreeks te maken hebben met gezondheid. Beleidsmakers bij overheid, topsectoren en bedrijfsleven die zich inzetten voor het terugdringen van verontreiniging door (micro)plastics hebben andere belangrijke vragen. Hoe kan het ontstaan van microplastics aan de bron teruggedrongen worden? Welke eisen zouden idealiter gesteld moeten worden aan nieuwe plastic materialen, verpakkingen en andere toepassingen? Wanneer microplastics eenmaal in water of lucht terecht zijn gekomen, kunnen zij er dan uitgefilterd worden? En wat doen we vervolgens met deze nieuwe afvalstroom? Hoe verhouden microplastics zich tot andere gezondheidsrelevante stoffen? En wat zijn de gezondheidsrisico's van alternatieve materialen?

Een relevant kennishiaat is gelegen op het terrein van de praktische omgang met plastics. Zo is bijvoorbeeld nog niet bekend hoeveel microplastics vrijkomen bij het openen van verpakkingen, of als gevolg van de interactie tussen voedingsmiddelen en verpakkingen. Over de chemie van die interactie is al wel veel bekend, maar het vrijkomen van deeltjes is nog niet goed onderzocht, bijvoorbeeld of de zuurgraad van de verpakte stof (zoals vruchtensap) van invloed is op het vrijkomen van microplastics. Ook op vele andere terreinen is nader onderzoek nodig naar het ontstaan van microplastics in de omgang met plastic voorwerpen, en de bijdrage daarvan aan de humane blootstelling.

Antwoorden op dit soort vragen zijn uiteindelijk ook relevant om de blootstelling aan en effecten van microplastics voor mens en milieu terug te dringen. De langetermijneffecten van plasticafval en microplastics op ecosystemen blijven onderwerp van wetenschappelijk onderzoek. Ook het bestuderen van methoden om (micro)plastics uit het milieu te verwijderen en/of versneld af te breken verdient aandacht. We hebben immers nog steeds te maken met een groeiende hoeveelheid plastic. In het kader van deze verkenning zullen deze vragen verder niet meegenomen worden in de prioritering, aangezien hier de rechtstreekse relatie tussen microplastics en gezondheid centraal staat.

# 3 Aandachtsgebieden en kennisagenda

De gezondheidseffecten van microplastics verdienen nadere wetenschappelijke aandacht, als basis voor innovaties en beleidsmaatregelen. Samenhang en samenwerking zijn daarbij sleutelwoorden. Vanuit een gemeenschappelijk te formuleren *framework* voor het bepalen van risico's dient gewerkt te worden aan het invullen van de witte plekken op de kaart. Interdisciplinaire samenwerking in publiek-private consortia kan zorgen dat nieuwe kennis zo snel mogelijk vertaald wordt in concrete toepassingen, zodat maatschappelijke en economische kansen gerealiseerd worden.

De rondgang langs vertegenwoordigers van wetenschap, beleid en bedrijfsleven leverde een opmerkelijk eensgezind beeld op van de kennisbehoeften op het gebied van microplastics en gezondheid. Het is duidelijk dat er behoefte bestaat aan meer specifieke kennis die gebruikt kan worden om gericht maatregelen te nemen. Terugkerende vragen waren bijvoorbeeld: welke typen plastics en welke deeltjes hebben de grootste impact op de gezondheid? Hoe meten we de aller-kleinste deeltjes en wat zijn de gezondheidseffecten van die zeer kleine deeltjes? Hoe ontwikkelen we gestandaardiseerde meetmethoden voor de diverse typen microplastics? Waarin onderscheiden microplastics zich van andere kleine deeltjes zoals roetdeeltjes in fijnstof?

## 3.1 Van aandachtsgebieden naar prioriteiten

Op grond van de algemene probleemverkenning en de stand van zaken in de wetenschap in hoofdstuk 1 en de kennishiaten en -behoeften in hoofdstuk 2 is in overleg met experts uit wetenschap, beleid en bedrijfsleven een aantal belangrijke aandachtsgebieden geïdentificeerd voor het wetenschappelijke onderzoek op het gebied van microplastics en gezondheid voor de komende 10 jaar.

Uitgangspunt voor deze kennisagenda is dat het (vaak nog fundamentele) onderzoek kennis moet opleveren die aansluit bij de behoeften van beleid en praktijk en die toepasbaar is bij het inschatten van gezondheidsrisico's en/of het verminderen daarvan. Om te benadrukken dat de toepasbaarheid van kennis centraal staat, beginnen we de opsomming van aandachtsgebieden met het thema innovatie en beleid, gevolgd door de systematiek voor classificatie en risicobeoordeling. Na de bespreking van de aandachtsgebieden zullen vanuit ZonMw perspectief prioriteiten worden gesteld voor de komende 5-10 jaar. De onderstaande aandachtsgebieden zijn een uitwerking van de thema's uit het vorige hoofdstuk (ter verduidelijking staat het relevante paragraafnummer ernaast).

Het betreft de volgende aandachtsgebieden:

1. Innovatie en beleid (2.4)
2. Classificatie en risicobeoordeling (2.3)
3. Methoden voor het detecteren en identificeren van microplastics (2.1)
4. Blootstelling en toxicokinetiek (2.1)
5. Fundamenteel onderzoek naar gezondheidseffecten (2.2)
6. Epidemiologisch onderzoek naar gezondheidseffecten (2.2)

### 3.1.1 Innovatie en beleid

Deze kennisagenda rond microplastics en gezondheid is uiteindelijk gericht op het ontwikkelen van gerichte innovaties in het bedrijfsleven en beleidsmaatregelen die de mogelijke gezondheidsrisico's door microplastics terugdringen. Het onderzoek moet concreet zicht opleveren op de risico's die



samenhangen met specifieke plastics, naast (hopelijk) meer inzicht in de manier waarop specifieke microplastics ontstaan. Zo weten we straks hopelijk of de microplastics component uit autobanden in fijnstof leidt tot extra gezondheidsklachten in vergelijking met de andere deeltjes, en of kinderen in de loop van hun leven gezondheidseffecten zullen ervaren van microplastics uit verf en kleding in het huisstof.

### **Dialog**

Kennis uit wetenschappelijk onderzoek zal het containerbegrip 'microplastics' in de komende jaren verfijnen tot specifieke categorieën, die kunnen worden voorzien van hun eigen *health impact assessment* (zie 3.1.2) en een bijbehorende concrete aanpak in de vorm van innovaties en beleid. Het ontwikkelen van een gedifferentieerde effectieve aanpak vereist uiteraard nog de nodige inspanning. De ervaring leert immers dat academische kennis niet automatisch leidt tot innovatie of implementatie. Vaak is nog een vertaalslag nodig van academische kennis naar concrete aanbevelingen en maatregelen. Het is dus van belang dat er voldoende interdisciplinaire wisselwerking bestaat tussen onderzoekers van verschillende disciplines enerzijds en de diverse professionals die met hun resultaten aan de slag moeten anderzijds (zie ook 3.5). De vruchtbare gesprekken die aan de totstandkoming van deze verkenning ten grondslag liggen, laten zien dat een dergelijke dialoog zeker mogelijk is.

### **Kennisvragen op het gebied van beleid:**

- welke maatregelen zijn nodig, gericht op de eventuele negatieve gezondheidseffecten van (specifieke categorieën van) microplastics?
- welke maatregelen worden nu al specifiek genomen tegen blootstelling aan microplastics en hoe meten we hun effect (bijvoorbeeld effect van ventilatie op concentratie in binnenlucht, maatregelen rond microplastics in water, et cetera)?
- welke (algemene) maatregelen hebben mogelijk een positief of negatief effect op de blootstelling aan microplastics? Gedacht kan worden aan maatregelen rond fijnstof, waterkwaliteit, bodemkwaliteit, voedselkwaliteit, of op veilige productie en arbeidsomstandigheden.
- hoe kunnen bedrijven en sectoren bijdragen aan het terugdringen van de blootstelling aan microplastics en wat is het effect van bestaande initiatieven, bijvoorbeeld rond de circulaire economie en *Safe by Design*?
- welke economische voordelen zijn te realiseren als bedrijven zich richten op innovatieve oplossingen voor het terugdringen van (specifieke) microplastics?
- (hoe) kan het gedrag van burgers/consumenten zo worden beïnvloed dat er minder microplastics vrijkomen (bijvoorbeeld rijgedrag, omgaan met afval, afwegingen bij de aanschaf van producten)?
- wat zijn de maatschappelijke en economische kosten (bijvoorbeeld ziektelast, productiviteit, milieuschade) die samenhangen met microplastics, met andere woorden welke baten zijn te verwachten bij een gerichte aanpak?
- welke normen kunnen we vaststellen voor concentraties van (specifieke) microplastics in water, lucht, bodem, voeding en andere relevante producten?

## **3.1.2 Classificatie en risicobeoordeling**

'Microplastics' is zoals gezegd nu nog een containerbegrip. Een belangrijke stap op weg naar preventief beleid en effectieve maatregelen vanuit het bedrijfsleven is daarom een goede classificatie van de uiteenlopende microplastics, gekoppeld aan een inschatting van de gezondheidsrisico's (en ook de ecologische risico's) voor elke groep microplastics. Het nadenken over een zinvolle classificatie is al begonnen en kan sturend zijn bij het prioriteren van onderzoek naar blootstelling en gezondheidseffecten.

### **Framework**

Naast een classificatie van de deeltjes is het ook zinvol om nu al stil te staan bij een overkoepelend kader (*framework*) voor risicobeoordeling, dat richting kan geven aan het verdere onderzoek. Deze verkenning biedt hiervoor al belangrijke elementen. Zelfs met de huidige bescheiden kennis kan al een *provisionary risk assessment* worden uitgevoerd, die vervolgens regelmatig (bijvoorbeeld

tweejaarlijks) wordt geactualiseerd. Zo ontstaat telkens een helder beeld van de stand van zaken, de urgentie en de eventuele oplossingsrichtingen. Zo kunnen ook nieuwe uitdagingen bijtijds gesignaleerd worden. De ontwikkeling van nieuwe materialen gaat immers verder, met nieuwe potentiële gezondheidsrisico's. Een goed voorbeeld zijn de kunststof composieten waarin koolstof nanobuisjes verwerkt zijn. Deze materialen hebben unieke eigenschappen, waardoor zij de komende jaren steeds breder zullen worden ingezet. De vraag of uit deze composieten schadelijke deeltjes kunnen voortkomen, verdient waarschijnlijk nader onderzoek.

### **Health Impact Assessment**

Naarmate de kennis over microplastics toeneemt, kan de classificatie van microplastics en het overkoepelende framework verder worden verfijnd. Als het goed is, groeien classificatie en kennis naar elkaar toe, zodat uiteindelijk een gedegen en praktisch hanteerbaar systeem ontstaat dat voor de belangrijkste vormen van microplastics een specifieke *Health Impact Assessment* mogelijk maakt, waarin volgens de formule  $\text{risico} = \text{hazard} \times \text{blootstelling}$  duidelijk wordt welke microplastics door de ernst van hun gezondheidseffecten of de mate van blootstelling en/of accumulatie de meeste aandacht verdienen. Wellicht kan voor bepaalde klassen van microplastics worden vastgesteld welke deeltjes bruikbaar zijn als indicator voor de gehele klasse, zoals dat nu ook gedaan wordt voor bepaalde chemische stoffen.

### **Kennisvragen op het gebied van classificatie en risicobeoordeling zijn bijvoorbeeld:**

- welke onderdelen van de *health impact assessment* zijn nog onderbelicht?
- (wanneer) is er een voorlopige risicobeoordeling mogelijk?
- welke gezondheidseffecten horen bij welke microplastics?
- welke microplastics en welke bronnen van microplastics veroorzaken de grootste blootstelling?
- welke microplastics hebben de ernstigste gezondheidseffecten en hoe bereiken zij ons lichaam?
- welke kunststoffen zijn relatief veilig als het gaat om gezondheidsrisico's door microplastics?

## **3.1.3 Methoden voor detectie en identificatie**

Het zal een uitdaging zijn om methoden te ontwikkelen waarmee microplastics gedetecteerd en geïdentificeerd kunnen worden in een wereld die vol is van (andere) kleine stofdeeltjes. Deze overkoepelende uitdaging valt uiteen in een aantal specifiekere uitdagingen. Bij het ontwikkelen van meetmethoden horen ook inspanningen op het gebied van harmonisatie en standaardisatie van alle stappen die nodig zijn bij een meting. Ook op het terrein van metingen moet vermeden worden dat microplastics als containerbegrip worden benaderd.

### **Methoden voor het detecteren en identificeren van microplastics:**

- afkomstig van diverse specifieke plastics;
- met uiteenlopende vormen (bolvorm, plat, vezel, etc.);
- met een zo breed mogelijk spectrum van deeltjesgroottes (met extra aandacht voor de zeer kleine deeltjes);
- inclusief de veranderende chemische en microbiële contaminatie;
- in uiteenlopende stoffen en organische matrices;
- met aandacht voor standaardisatie en harmonisatie van meetmethoden in het gehele traject van bemonstering, isolatie, extractie en analyse, referentiematerialen, inclusief kwaliteitsborging in dit traject;
- met (internationale) afspraken over de beste manier om uitkomsten te beschrijven: aantal deeltjes, massa, informatie over vorm en samenstelling, et cetera.

Elke doorbraak in meet- en detectiemethoden maakt het mogelijk om nieuwe vragen te beantwoorden op het gebied van blootstelling (3.1.4) en de gevolgen ervan (3.1.5 en 3.1.6).

### 3.1.4 Blootstelling en toxicokinetiek

Om het gezondheidsrisico van verschillende microplastics te kunnen vaststellen, zijn allereerst gegevens nodig over de lange- en kortetermijn blootstelling op verschillende niveaus: in het milieu (lucht, oppervlaktewater, grondwater, bodem), in individuele externe blootstelling (buitenlucht, binnenmilieu, drinkwater, voeding) en in de interne blootstelling van verschillende organen en compartimenten van het lichaam. Gezondheidseffecten hangen uiteraard het sterkst samen met de interne blootstelling in de loop van de tijd, waarbij ook gekeken moet worden naar de eliminatie van microplastics uit de verschillende compartimenten van het lichaam, en stapeling (accumulatie) die wellicht voor specifieke weefsels en organen een hoge interne blootstelling oplevert. Met andere woorden, er moeten toxicokinetische (reken)modellen ontwikkeld worden voor microplastics die langs verschillende routes het lichaam binnenkomen. Gezien de diversiteit van microplastics zal in deze modellen ook rekening gehouden moeten worden met verschillen in deeltjesgrootte, samenstelling, contaminatie et cetera.



#### Mechanismen

Het onderzoek dat nodig is voor de ontwikkeling van deze modellen, gaat op verschillende terreinen verder dan de metingen die bij 3.1.3 benoemd staan. Er moet immers ook bepaald worden hoe en hoe snel verschillende deeltjes de diverse barrières in het lichaam (darmwand, bloedvaten, placenta, bloedhersensbarrière, etc.) passeren. Naast kwantitatieve gegevens gaat het ook om inzicht in de mechanismen waarmee microplastics zich door het lichaam verplaatsen. Vergelijkbare mechanismen zullen een rol spelen in planten en dieren, en dus ook bij de accumulatie van microplastics in onze voeding en in de voedselketen. Overeenkomstig de eerdergenoemde bevinding dat microplastics worden opgenomen in landbouwgewassen tonen ook andere studies, waarvan de methodologie overigens nog omstreden is, een zeer hoge concentratie van microplastics in groenten en fruit (Conti e.a. 2020). Zulke kennis is uiteraard zeer relevant voor het inschatten van de externe blootstelling en voor het ontwikkelen van maatregelen om deze te beperken. Naarmate meer bekend is over de mechanismen waarmee microplastics zich verplaatsen door het lichaam, kunnen ook (bio-)markers worden ontwikkeld waarmee men de blootstelling in kaart kan brengen. Deze methoden maken het ook mogelijk om de blootstelling in de tijd te volgen en om de effectiviteit van maatregelen te evalueren.

### **Kennisvragen op het gebied van blootstelling en toxicokinetiek:**

- wat is de externe blootstelling (aanwezigheid in het milieu, in buitenlucht, binnenmilieu, drinkwater en voeding)?
- wat is de interne blootstelling (modellen voor de verspreiding door de diverse compartimenten van het lichaam, accumulatie in specifieke organen en weefsels)?
- wat zijn de routes, langs welke wegen komen verschillende typen microplastics het lichaam binnen?
- wat zijn de mechanismen: hoe en in welk tempo verplaatsen verschillende soorten en formaten microplastics zich over de verschillende membranen en barrières in het lichaam (*membrane passage rate*) en wat is hierbij de rol van de corona?
- wat is de verandering in kenmerken: hoe veranderen de eigenschappen van microplastics afhankelijk van omstandigheden (verschillende externe en interne milieus)?

## **3.1.5 Fundamenteel onderzoek naar gezondheidseffecten**

Fundamenteel onderzoek naar de gezondheidseffecten van microplastics kan gebruik maken van het brede scala aan medisch biologische onderzoeksmethoden waarmee andere gezondheidseffecten in kaart worden gebracht: gekweekte cellen van mens of dier (*in vitro*), cellen die rechtstreeks ontleend worden aan een levend organisme (*ex vivo*), organoïden uit geïnduceerde pluripotente stamcellen, postmortaal onderzoek en proefdieronderzoek (*in vivo*).

### **Combineren en vergelijken**

In deze verschillende modelsystemen kunnen de mogelijke effecten van microplastics systematisch worden onderzocht: deeltjestoxiciteit, effect van chemische stoffen, besmetting met microbiële contaminanten. Door verschillende technieken te combineren en door uiteenlopende microplastics te gebruiken, kan in de komende jaren een steeds duidelijker en specifiek beeld ontstaan van de biologische effecten van microplastics. In combinatie met kennis over de uitwendige en inwendige blootstelling kan zo een steeds realistischer schatting worden gemaakt van het daadwerkelijke gezondheidsrisico op de korte en lange termijn. Speciale aandacht verdient daarbij de deeltjestoxiciteit van de allerkleinste deeltjes en inzicht in de mechanismen achter deze deeltjestoxiciteit. Voor deeltjes van uiteenlopende diameters is het verder van belang om microplastics systematisch te vergelijken met andere deeltjes waaraan mensen worden blootgesteld, van roet en mineralen tot natuurlijke polymeren zoals cellulose.

In het voorafgaande zijn diverse belangrijke deelaspecten benoemd, waaronder het gebruik van milieurelevante mengsels van (verontreinigde) microplastics, aandacht voor specifieke microbiële risico's, zoals het overbrengen van virussen of resistentiegenen, de rol van de corona en mogelijke effecten op volgende generaties. Een belangrijk doel van fundamenteel onderzoek is de ontwikkeling van biomarkers voor gezondheidseffecten van microplastics, of inzicht in de bijdrage van microplastics aan bepaalde biologische processen zoals ontstekingsneiging.

### **Kennisvragen op het gebied van fundamenteel onderzoek naar gezondheidseffecten**

- wat is de deeltjestoxiciteit van verschillende soorten microplastics?
- wat is de deeltjestoxicologie van de allerkleinste plasticdeeltjes en het toxicologische werkingsmechanisme ervan?
- wat zijn de chemische effecten en kinetiek van deze effecten bij kleinere deeltjes?
- wat zijn de microbiologische hazards (kunnen microplastics virussen, schimmels, bacteriën of resistentiegenen overdragen en in welke mate gebeurt dat)?
- wat tonen studies met realistische doseringen van milieurelevante (mengsels van) microplastics (diverser, gedegrademd, verontreinigd, met name ook zeer kleine deeltjes en vezels)?
- wat zijn de effecten van langdurige (multi-generatie) blootstelling?
- wat is de rol van de corona buiten en binnen het lichaam?
- wat blijkt uit de vergelijking met actieve controles (roetdeeltjes, *engineered* nanomaterialen (o.a. zilverpartikels), silicadeeltjes en natuurlijke polymeren zoals chitine en cellulose)?
- hoe sluiten we aan bij de bredere 'exposoom' benadering die zich richt op de gezondheidseffecten van het geheel van omgevingsfactoren waaraan mensen blootstaan en wat is het aandeel van microplastics daarin?

## 3.1.6 Epidemiologisch onderzoek naar gezondheidseffecten

Epidemiologisch onderzoek is van groot belang voor de vertaalslag van fundamentele onderzoeksresultaten in modelsystemen naar de gezondheid van de mens, en heeft daarnaast ook een signalerende functie. Deze vorm van onderzoek vraagt echter vaak om een lange adem, met name bij prospectieve studies. Voor de meeste verwachte effecten van microplastics duurt het immers vele jaren voordat zij zichtbaar worden in de gezondheid van mensen. Daar komt nog bij dat het voorlopig nog ontbreekt aan betrouwbare meetmethoden om de externe en interne blootstelling aan microplastics te bepalen.

### Nu beginnen

Toch kan er wel degelijk nu al actie ondernomen worden om zo snel mogelijk te beschikken over relevante epidemiologische gegevens. Om te beginnen is het van belang om gezondheidsgegevens te verzamelen van mensen die door hun beroep blootstaan aan meer dan gemiddelde concentraties microplastics, zoals wegwerkers en medewerkers in de kleding- en plasticindustrie. Verder verdienen microplastics aandacht binnen lopende en nieuw op te zetten cohortstudies in Nederland, zoals bijv. Lifelines en Generation R. Elke studie waarbij lichaamsmateriaal verzameld wordt en longitudinaal gezondheidsgegevens worden vastgelegd, kan in de toekomst bijdragen aan onderzoek naar de effecten van microplastics. Ook als de betreffende deeltjes nu nog niet kunnen worden aangetoond in bloed en weefselmonsters, is dit in de toekomst hopelijk wel mogelijk. Als intussen ook gegevens over de gezondheid zijn vastgelegd, kan de relatie tussen inwendige blootstelling en gezondheidseffecten onderzocht worden zodra de inwendige blootstelling wel meetbaar is.

### Doelgroepen

Bij het verzamelen van materialen en gegevens is het van extra belang om ook kinderen en jongeren mee te nemen, aangezien zij (al vanaf de conceptie) gedurende veel langere tijd blootgesteld zullen zijn aan microplastics. Zodra er bijvoorbeeld uit fundamenteel onderzoek aanwijzingen zijn voor effecten van microplastics op specifieke (orgaan)systemen, kan gericht onderzoek in materiaal van patiënten en gezonde mensen helpen om hier meer zicht op te krijgen.

Kennisvragen op het gebied van epidemiologisch onderzoek:

- wat zijn eventuele beroepsziekten en andere signalen van gezondheidseffecten bij verhoogde blootstelling?
- kunnen we in groepen mensen resultaten uit fundamenteel onderzoek (3.1.5) verifiëren?
- wat zijn de lange termijn effecten van microplastics bij de mens, aan de hand van (lopende) cohortstudies?
- wat zijn de gevolgen van eventuele blootstelling vanaf de conceptie en blootstelling op de kinderleeftijd?
- wat zijn effecten van microplastics in specifieke doelgroepen met een hoge versus lage blootstelling (zoals langs snelwegen, sociaal-economische gezondheidsverschillen)?
- wat is de rol van microplastics bij specifieke (chronische) aandoeningen?

## 3.2 Volgorde en urgentie

De weg van kennisbehoeften naar concrete toepassingen verloopt vaak niet lineair, maar cyclisch. Een antwoord roept nieuwe vragen op, of beantwoordt slechts een deel van de achterliggende vraag. Daarbij is het belangrijk om vast te stellen dat er een logische volgorde zit in de wetenschappelijke aanpak die soms geen recht lijkt te doen aan de gevoelde urgentie om snel meer inzicht te hebben in de gezondheidsrisico's van microplastics. Zolang het bijvoorbeeld ontbreekt aan meettechnieken om specifieke microplastic deeltjes te detecteren en identificeren, is de blootstelling niet te meten, waardoor ook het gezondheidsrisico onbekend blijft. Hetzelfde geldt als we de deeltjes kunnen meten, maar de effecten nog onderzocht moeten worden.

Toch kan en mag de boodschap niet zijn dat beleidsmakers bij de overheid en innovatoren in het bedrijfsleven de komende 10 jaar moeten wachten op resultaten. Telkens dienen met de beschikbare methoden de meest urgente vragen te worden aangepakt, zodat ook al op korte termijn specifiekere maatregelen mogelijk worden. Waarschijnlijk zal in veel gevallen dezelfde cirkel

verschillende malen doorlopen moeten worden, elke keer als er nieuwe meetmethoden en nieuwe kennis beschikbaar komen.

## 3.3 Aanbevelingen wetenschappelijk onderzoek

Het voorafgaande leidt tot de volgende aanbevelingen voor de korte termijn op het gebied van wetenschappelijk onderzoek naar microplastics en gezondheid:

- **Gezamenlijk programmeren vanuit een *framework voor health impact assessment*:** het referentiekader bij het prioriteren van kennisvragen helpt ook om de samenhang te bewaken in het gewenste interdisciplinaire onderzoek, als basis voor het vaststellen van het gezondheidsrisico op de korte en langere termijn. Dit referentiekader is ook de basis voor alle voorlopige inschattingen (*provisionary risk assessment*) en het bepalen van maatregelen die in elk geval zinvol zijn (*no regret*).
- **Inzetten op fundamenteel onderzoek naar gezondheidseffecten:** de enige manier om zo snel mogelijk te bepalen welke van de theoretisch denkbare gezondheidseffecten ook daadwerkelijk een hazard betekent is systematisch onderzoek in de diverse genoemde modelsystemen (*in vitro*, *in vivo*, *ex vivo*, *organoiden*, *post mortem*). De allerkleinste deeltjes verdienen daarbij specifieke aandacht, omdat hierover het minst bekend is en de verwachte impact het grootst.
- **Inzetten op verbetering van meetmethoden en meten van blootstelling:** alleen als het gehele spectrum aan deeltjesgroottes en -vormen gemeten kan worden, zijn zinnige uitspraken te doen over gezondheidsrisico's en het effect van innovaties en maatregelen. Dat geldt zowel voor metingen in water, bodem en lucht als voor metingen in voeding en in het lichaam (inwendige blootstelling).
- **Werken aan de vertaalslag van modelsystemen naar mens:** hoewel fundamentele kennis onmisbaar is, is een celkweek of een zebra vis natuurlijk geen mens. Er bestaan technieken voor het extrapoleren van zulke modelsystemen naar de mens. Daarnaast zijn epidemiologische en klinische gegevens uiteindelijk onmisbaar voor het inschatten van daadwerkelijke hazards.

De inschatting van experts is dat er tenminste vijf jaar nodig zijn voor het fundamentele onderzoek en het adequaat meten van de blootstelling, uitgaande van een gemeenschappelijk conceptueel kader (*framework*). Zodra dat enigszins mogelijk is, moet worden gewerkt aan het invullen van de *health impact assessment* voor verschillende typen microplastics, het ontwikkelen van *evidence based* maatregelen (in nauwe samenwerking met relevante partners in het bedrijfsleven) en deze vervolgens evalueren. Daaruit kan een nieuwe cyclus ontstaan van een gerichte aanpak, evaluatie, nieuwe kennis en nieuwe innovaties/maatregelen.

## 3.4 Interdisciplinaire samenwerking, data delen, infrastructuur

Uit deze verkenning blijkt een groeiende aandacht voor microplastics en hun gezondheidseffecten. Er zijn consortia aan het ontstaan die zich richten op belangrijke onderzoeksvragen op dit gebied, die aanvragen indienen in het kader van de Nationale Wetenschapsagenda (NWA), het missiegedreven innovatiebeleid en in diverse Europese programma's. Onderlinge afstemming en samenwerking zijn daarom van groot belang (belangrijker dan onderlinge concurrentie), om te zorgen dat de belangrijkste kennisvragen zo snel mogelijk worden opgevuld en om doublures te voorkomen. Dure onderzoeksinfrastructuur (bijvoorbeeld dure meetapparatuur) kan wellicht worden geconcentreerd in één of enkele kennisinstellingen.

### Toegang tot data

De data die verzameld worden, zouden toegankelijk moeten zijn voor anderen, bijvoorbeeld voor de ontwikkeling van toxicokinetische modellen (zie 3.1.4), classificaties en risicobeoordelingen (zie 3.1.2). Dit kan gerealiseerd worden door aansluiting bij initiatieven om data en kennis te delen zoals

de Data- en Kennishub Gezond Stedelijk Leven<sup>5</sup> en de Health-Research Infrastructure<sup>6</sup>. Een gedeelde onderzoeksinfrastructuur biedt ook kansen voor gezamenlijke programmering en afstemming (zie ook 3.6). Gegeven de uiteenlopende maatschappelijke en economische belangen is transparantie in dit dossier van cruciaal belang, inclusief FAIR<sup>7</sup> data en toegankelijke zakelijke rapportages.

### Meer disciplines

Het is verder belangrijk dat de huidige groep wetenschappers met belangstelling voor microplastics en gezondheid verbreed wordt. Het lopende ZonMw programma toont de meerwaarde van samenwerking tussen onderzoekers uit o.a. milieukunde, geneeskunde, toxicologie, ecologie. Zorgprofessionals, gezondheidswetenschappers en onderzoekers op het gebied van preventie en arbeidsomstandigheden zouden nog meer dan nu het geval is betrokken moeten worden bij microplastics onderzoek en beleid. Het is ook van belang aan te sluiten bij het Exposoom veld, waarin de ziekmakende rol van het geheel van omgevingsfactoren wordt onderzocht (zoals het NWO Zwaartekracht Exposoom project, EU Horizon2020 EXPAND project). Tegelijkertijd blijft het belangrijk om voeling te houden met de wereld van het ecologische onderzoek, waarbinnen al veel langer wordt nagedacht over microplastics en hun biologische effecten. Een goed voorbeeld van een succesvol initiatief op milieugebied dat mogelijk ook nuttige informatie oplevert voor de gezondheidseffecten van microplastics is het TRAMP project<sup>8</sup>.

### Wisselwerking met praktijk

Naast deze multidisciplinaire samenwerking tussen wetenschappers is het bij dit toepassingsgerichte onderzoek essentieel om ook al in een vroeg stadium de interdisciplinaire wisselwerking met de praktijk te organiseren door professionals uit de praktijk van preventie, innovatief bedrijfsleven en beleid te betrekken bij het formuleren van vraagstellingen en eindproducten. Voor sommige vraagstellingen kunnen ook (collectieven van) burgers waardevolle bijdragen leveren.

### Internationale samenwerking

Ook internationale samenwerking is een aandachtspunt, met recente aandacht en programmering binnen de World Health Organization (WHO), de EU (Green Deal, Horizon Europe, European Food and Safety Authority, European Environment Agency, European Chemicals Agency) en de VS (Environmental Protection Agency; Health and Environmental Sciences Institute) en het bedrijfsleven.

## 3.5 Kansen door praktijkgericht onderzoek en publiek-private samenwerking

Nederland heeft om verschillende redenen wereldwijd een voorsprong op het gebied van onderzoek naar microplastics en gezondheid. Dat geeft kansen, zowel in de wetenschap als in eventuele economische en maatschappelijke toepassingen. Er is in ons land immers al enige tijd hoogwaardig onderzoek gaande naar de ecologische aspecten van microplastics, met name in het mariene milieu. Het gezondheidsonderzoek in Nederland kan zich meten met de wereldtop. Mede dankzij het ZonMw programma Microplastics & Health is al een begin gemaakt met het bestuderen van fundamentele gezondheidsaspecten van microplastics. Onderzoek op dit terrein sluit goed aan bij de groeiende belangstelling van gezondheidsonderzoekers in Nederland op het gebied van de invloed van de leefomgeving, zoals onder meer blijkt uit de Kennis- en Innovatieagenda Gezondheid en Zorg 2020-2023 en het NFU-rapport 'Onderzoek en innovatie met en voor een gezonde regio' (2019). Milieufactoren in het algemeen staan op de derde plaats van externe determinanten van ziektebelasting; het aandeel van microplastics hierin verdient dus zeker nader onderzoek.

5 <https://www.datakennishubgsl.nl/>

6 <https://www.health-holland.com/partnerships/health-ri>

7 FAIR staat voor Findable, Accessible, Interoperable, Reusable. Met andere woorden data moeten vindbaar, toegankelijk, interoperabel, herbruikbaar en duurzaam opgeslagen zijn. Zie verder <https://www.zonmw.nl/en/research-and-results/fair-data-and-data-management/>

8 Technologies for the Risk Assessment of MicroPlastics in the aquatic environment; <https://www.stwtramp.nl/>

### Publiek-private samenwerking

Het thema microplastics, met de benodigde meetmethoden, onderzoeksmethoden en innovaties om eventuele gezondheidsrisico's terug te dringen leent zich bij uitstek voor publiek-private samenwerking. Daarbij zouden naast bedrijven en overheidsinstellingen ook intermediaire organisaties en NGO's betrokken moeten worden. Een dergelijke nauwe samenhang tussen onderzoek en toepassing is bevorderlijk voor snelle implementatie van onderzoeksresultaten en het optimaliseren van de maatschappelijke en economische 'winst'. Die winst is niet alleen te behalen aan het eind van de keten, bij het terugdringen van microplastics in (binnen)milieu, voeding en drinkwater, maar waarschijnlijk ook aan het begin, bij materiaalonderzoekers, producenten en consumenten. Diverse topsectoren zouden hierbij betrokken kunnen worden. In diezelfde context is het goed om aansluiting te zoeken bij het missiegedreven innovatiebeleid van het huidige kabinet en de diverse kennis- en innovatie agenda's (KIA's) op de maatschappelijke uitdagingen Gezondheid en Zorg, Landbouw en Voeding, Klimaat en water, en Circulaire Economie. Goede samenwerking en afstemming is nodig met vele andere organisaties en departementen die in de verkenning zijn betrokken. Binnen Nederland betreft dit met name het RIVM, de ministeries van VWS (DG Volksgezondheid), IenW (DG Milieu en internationaal en DG Water en Bodem) en LNV (inclusief de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit), topsectoren en TKI's (Life Sciences & Health, Chemie, Waternotechnologie), kennisinstututen, branche-organisaties, bedrijfsleven en NWO.

### Samenhangende aanpak

Van doorslaggevend belang voor toekomstig succes is interdisciplinaire samenwerking vanuit een breed gedragen visie op de langere termijn. Het begin van consortiumvorming en samenwerking dat nu zichtbaar is, zal verder versterkt moeten worden, liefst door de vorming van publiek-private samenwerkingsverbanden waarin wetenschap, overheid, bedrijfsleven en burgers betrokken worden. Microplastics is een breed onderwerp dat raakt aan veel verschillende sectoren (gezondheid, voeding, water, chemie, mode, verkeer, bouw, etc.). Bij een dergelijk overstijgend thema is het noodzakelijk om probleemeigenaarschap te organiseren, zodat er aandacht voor blijft en een voldoende samenhangende aanpak ontwikkeld kan worden. Er moet gezocht worden naar een goede vorm, die geen nodeloze bureaucratie met zich meebrengt, maar wel de gewenste regie en samenhang kan aanbrengen op grond van een te ontwikkelen *framework* van kennisontwikkeling en toepassing. Een dergelijke structuur kan bevorderen dat de vertaalslag gemaakt wordt van wetenschap naar concrete innovaties en beleid en voorkomen dat er doublures ontstaan in de verschillende nationale en internationale initiatieven. Zeker naarmate het onderzoek vordert, wordt het belangrijk om kennisagenda's en onderzoeksprogramma's op elkaar af te stemmen en synergie te bevorderen. ZonMw kan hier een bijdrage aan leveren vanuit de rol van signaleren en agenderen van kennislacunes, het financieren van gezondheidsonderzoek en het stimuleren van toepassing van de ontwikkelde kennis.

## 3.6 Conclusie en verdere acties

Met het publiceren van deze verkenning wordt een proces van enkele maanden afgesloten waarin velen hebben meegedacht over de gezondheidsaspecten van microplastics. Het is de bedoeling dat de publicatie tevens het begin inhoudt van diverse activiteiten in onderzoek en beleid. Dat begint met het breed delen van deze verkenning, zowel binnen Nederland als daarbuiten.

Plastic materialen hebben in de afgelopen eeuw oplossingen opgeleverd voor een groot aantal problemen, ook in de gezondheidszorg. De bijdrage van plastic verpakkingen aan voedselhygiëne, houdbaarheid en daarmee ook aan duurzaamheid mag niet onvermeld blijven. Tegelijkertijd beginnen we ons bewust te worden van de ongewenste effecten van de miljarden tonnen plastic die sinds de jaren 50 van de vorige eeuw geproduceerd zijn. Al zou de plasticproductie vandaag stoppen, dan nog blijft de hoeveelheid microplastics in het milieu toenemen als gevolg van degradatie van het aanwezige plastic.

De wetenschap heeft ons de mogelijkheid geboden om plastics te ontwerpen en te produceren. Het is nu tijd om de hulp van de wetenschap in te roepen om de mogelijke gezondheidseffecten van microplastics allereerst zorgvuldig in kaart te brengen zodat in beleid en praktijk een gerichte aanpak geformuleerd kan worden.



**Bijlage**

Referenties

Barboza, L.G.A., Vethaak, A.D., Lavorante, B., Lundebye, A.K., & Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133: 336-348. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047>

BfR; The German Federal Institute for Risk Assessment (2019). Microplastics: Facts, research and open questions. <https://www.bfr.bund.de/cm/349/microplastics-facts-research-and-open-questions.pdf>.

Brun, N.R.V., Koch, B.E., Varela, M.G.M., Peijnenburg, W.J., Spaink, H.P., & Vijver, M.G. (2018). Nanoparticles induce dermal and intestinal innate immune system responses in zebrafish embryos. *Environmental Science: Nano*, 5(4): 904-916. <https://doi.org/10.1039/C8EN00002F>

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://doi.org/10.3390/ijerph17041212>

Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment international*, 115: 400-409. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007>

Chen, Q., Yin, D., Jia, Y., Schiwiy, S., Legradi, J., Yang, S., & Hollert, H. (2017). Enhanced uptake of BPA in the presence of nanoplastics can lead to neurotoxic effects in adult zebrafish. *Science of the Total Environment*, 609: 1312–1321. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.144>

Conti, G.O., Ferrante, M., Banni, M., Favara, C., Nicolosi, I., Cristaldi, A., ... & Zuccarello, P. (2020). Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environmental Research*, 109677. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109677>

Cox, K.D., Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S.E. (2019). Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53(12): 7068-7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>

Enyoh, C.E., Verla, A.W., Verla, E.N., Ibe, F.C., & Amaobi, C.E. (2019). Airborne microplastics: A review study on method for analysis, occurrence, movement and risks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11): 668. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7842-0>

Fischer, M., & Scholz-Böttcher, B.M. (2017). Simultaneous Trace Identification and Quantification of Common Types of Microplastics in Environmental Samples by Pyrolysis-Gas Chromatography–Mass Spectrometry. *Environmental Science & Technology*, 51(9): 5052–5060. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06362>

Galloway, T.S. (2015). Micro- and nano-plastics and human health. In *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 343–366). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_13)

GESAMP (2020). Proceedings of the GESAMP International Workshop on assessing the risks associated with plastics and microplastics in the marine environment (Kershaw, P.J., Carney Almroth, B., Villarrubia-Gómez, P., Koelmans, A.A., & Gouin, T., eds.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/ UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Reports to GESAMP No. 103, 68 pp. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/31644>

Gezondheidsraad (2016). Briefadvies Gezondheidsrisico's van microplastics in het milieu, 15 december 2016. Publicatienr. 2016/17, Den Haag, Nederland. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brieven/2018/06/04/gezondheidsraad-advies-gezondheidsrisico-s-van-microplastics-in-het-milieu>

Gouin, T. (2020). Towards improved understanding of the ingestion and trophic transfer of microplastic particles—Critical review and implications for future research. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39:1119-1137. <https://doi.org/10.1002/etc.4718>

- Health, T.L.P. (2017). Microplastics and human health - an urgent problem. *Lancet Planetary Health*, 1(7): e254. Doi: 10.1016/S2542-5196(17)30121-3
- Health~Holland (2019). Gezondheid en Zorg. Kennis- en Innovatieagenda 2020-2023: Vitaal functionerende burgers in een gezonde economie. <https://www.health-holland.com/public/publications/kia/kennis-en-innovatieagenda-2020-2023-gezondheid-en-zorg.pdf>
- Hermesen, E., Mintenig, S.M., Besseling, E., & Koelmans, A.A. (2018). Quality criteria for the analysis of microplastic in biota samples: A critical review. *Environ Sci Technol* 52(18): 10230-10240. Doi: 10.1021/acs.est.8b01611
- Hernandez, L.M, Xu, E.G, Larsson, H.C.E., Tahara, R., Maisuria, V.B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21): 12300-12310. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
- Hernandez, L.M., Yousefi, N., & Tufenkji, N. (2017). Are there nanoplastics in your personal care products? *Environmental Science & Technology Letters*, 4(7): 280-285. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00187>
- Hesler, M., Aengenheister, L., Ellinger, B., Drexel, R., Straskraba, S., Jost, C., ..., & Kohl, Y. (2019). Multi-endpoint toxicological assessment of polystyrene nano- and microparticles in different biological models in vitro. *Toxicology In Vitro*, 61: 104610. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2019.104610>
- Huang, J.P., Hsieh, P.C.H., Chen, C.Y., Wang, T.Y., Chen, P.C., Liu, C.C., Chen, C.C., & Chen, C.P. (2015). Nanoparticles can cross mouse placenta and induce trophoblast apoptosis. *Placenta*, 36(12): 1433–1441. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2015.10.007>
- Jin, Y., Lu, L., Tu, W., Luo, T., & Fu, Z. (2019). Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice. *Science of the Total Environment*, 649: 308-317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.353>
- Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T.R., & Cole, M. (2018). Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36): 36046-36063. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3508-7>
- Karlsson, T.M., Vethaak, A.D., Almroth, B. C., Ariese, F., van Velzen, M., Hassellöv, M., & Leslie, H.A. (2017). Screening for microplastics in sediment, water, marine invertebrates and fish: Method development and microplastic accumulation. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2): 403–408. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.081>
- Kaya, A.T., Yurtsever, M., & Bayraktar, S.Ç. (2018). Ubiquitous exposure to microfiber pollution in the air. *The European Physical Journal Plus*, 133(11): 488. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2018-12372-7>
- Kedzierski, M., Lechat, B., Sire, O., Le Maguer, G., Le Tilly, V., & Bruzard, S. (2020). Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100489. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100489>
- Klein, M. & Fischer, E.K. (2019). Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. *Science of the Total Environment*, 685: 96-103. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.405
- Knight, L.J., Parker-Jurd, F.N., Al-Sid-Cheikh, M., & Thompson, R.C. (2020). Tyre wear particles: an abundant yet widely unreported microplastic? *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 18345-18354. Doi: 10.1007/s11356-020-08187-4
- Koelmans, A.A., Nor, N.H.M., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water research*, 155: 410-422. Doi: 10.1016/j.watres.2019.02.054

- Kooi, M. & Koelmans, A.A. (2019). Simplifying Microplastic via Continuous Probability Distributions for Size, Shape, and Density. *Environmental Science & Technology Letters*, 6: 551-557. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.9b00379>
- Kosuth, M., Mason, S.A., & Wattenberg, E.V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS One*, 13(4): e0194970. Doi: 10.1371/journal.pone.0194970
- Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2019). Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. *Environmental Science & Technology*, 53(4): 1748-1765. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512>
- Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Fu, Z., Shi, H., Raley-Susman, K.M., & He, D. (2018). Microplastic parti cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode particles *elegans*. *Science of the Total Environment*, 619–620: 1-8. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.103
- Leslie, H.A. & Depledge, M.H. (2020). Where is the evidence that human exposure to microplastics is safe? *Environment International*, 142: 105807. Doi: 10.1016/j.envint.2020.105807
- Li, L., Luo, Y., Li, R., Zhou, Q., Peijnenburg, W.J., Yin, N., ... & Zhang, Y. (2020). Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Nature Sustainability*, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0567-9>
- Liu, K., Wang, X., Fang, T., Xu, P., Zhu, L., Li, D. (2019). Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. *Science of the Total Environment*, 675: 462-471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.110>
- Luo, T., Wang, C., Pan, Z., Jin, C., Fu, Z., Jin, Y. (2019). Maternal polystyrene microplastic exposure during gestation and lactation altered metabolic homeostasis in the dams and their f1 and f2 offspring. *Environmental Science & Technology*, 53(18): 10978-10992. DOI: 10.1021/acs.est.9b03191
- Murphy, M. (2017). EPA Microplastics Expert Workshop Report “Trash Free Waters Dialogue Meeting” Convened June 28-29, 2017 <https://www.epa.gov/trash-free-waters/microplastics-expert-workshop-report>
- NFU; Nederlandse Federatie van Universitair Medische Centra (2019). Onderzoek en innovatie met en voor de gezonde regio. Think globally, act locally. [https://www.nfu.nl/img/pdf/19.2122-NFU\\_Onderzoek\\_\\_innovatie\\_\\_met\\_en\\_voor\\_de\\_gezonde\\_regio.pdf](https://www.nfu.nl/img/pdf/19.2122-NFU_Onderzoek__innovatie__met_en_voor_de_gezonde_regio.pdf)
- Oberdörster, G., Kuhlbusch, T.A.J. (2018). In vivo effects: Methodologies and biokinetics of inhaled nanomaterials. *NanoImpact*, 10: 38-60. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2017.10.007>
- Panno, S.V., Kelly, W.R., Scott, J., Zheng, W., McNeish, R.E., Holm, N., Hoellein, T.J., Baranski, E.L. (2019). Microplastic contamination in karst groundwater systems. *Ground Water*, 57(2): 189-196. <https://doi.org/10.1111/gwat.12862>
- Pitt, J.A., Kozal, J.S., Jayasundara, N., Massarsky, A., Trevisan, R., Geitner, N., Wiesner, M., Levin, E.D., & Di Giulio, R.T. (2018). Uptake, tissue distribution, and toxicity of polystyrene nanoparticles in developing zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 194: 185-194. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.11.017>
- Pitt, J.A., Trevisan, R., Massarsky, A., Kozal, J.S., Levin, E.D., & Di Giulio, R.T. (2018). Maternal transfer of nanoplastics to offspring in zebrafish (*Danio rerio*): A case study with nanopolystyrene. *Science of the Total Environment*, 643: 324–334. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.186
- Prata, J.C. (2018). Airborne microplastics: consequences to human health? *Environmental pollution*, 234, 115-126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>

- Prata, J.C., da Costa, J.P., Lopes, I., Duarte, A.C., & Rocha-Santos, T. (2019). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 702: 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Rainieri, S., Conlledo, N., Larsen, B.K., Granby, K., & Barranco, A. (2018). Combined effects of microplastics and chemical contaminants on the organ toxicity of zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Research*, 162: 135–143. DOI: 10.1016/j.envres.2017.12.019
- Schönlau, C., Larsson, M., Dubocq, F., Rotander, A., van der Zande, R., Engwall, M., & Kärrman, A. (2019). Effect-Directed Analysis of Ah Receptor-Mediated Potencies in Microplastics Deployed in a Remote Tropical Marine Environment. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00120>
- Revel, M., Châtel, A., & Mouneyrac, C. (2018). Micro(nano)plastics: A threat to human health? *Current Opinion in Environmental Science & Health* 1: 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.003>
- Rochman, C.M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K.,... & Hung, C. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(4): 703-711. <https://doi.org/10.1002/etc.4371>
- Rubio, L., Marcos, R., & Hernández, A. (2020). Potential adverse health effects of ingested micro-and nanoplastics on humans. Lessons learned from in vivo and in vitro mammalian models. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 23(2): 51-68. <https://doi.org/10.1080/10937404.2019.1700598>
- SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies, 2019. A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society. Berlin: SAPEA. 10.26356/microplastics. <https://www.sapea.info/microplastics-launch/>.
- Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsecs, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of Internal Medicine*, 171(7): 453-457. <https://doi.org/10.7326/M19-0618>
- Skåre, J.U., Alexander, J., Haave, M., Jakubowicz, I., Knutsen, H.K., Lusher, A., ... & Wagner, M. (2019). Microplastics; occurrence, levels and implications for environment and human health related to food. Opinion of the Steering Committee of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM report 2019:16, ISBN: 978-82-8259-332-8, ISSN: 2535-4019. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo, Norway. <https://hdl.handle.net/10037/16566>
- Stock, V., Böhmert, L., Lisicki, E., Block, R., Cara-Carmona, J., Pack, L.K., ... & Zabinsky, E. (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>
- Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., ... & Van den Eede, G. (2019). Review of micro-and nanoplastic contamination in the food chain. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(5): 639-673. Doi: 10.1080/19440049.2019.1583381
- Van Raamsdonk, L.W., van der Zande, M., Koelmans, A.A., Hoogenboom, R.L., Peters, R.J., Groot, M.J., ... & Weesepeel, Y.J. (2020). Current Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain. *Foods*, 9(1), 72. Doi: 10.3390/foods9010072
- RIVM; Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2016): Verschoor, A., De Poorter, L., Dröge, R., Kuenen, J., & de Valk, E. Emission of microplastics and potential mitigation measures: Abrasive cleaning agents, paints and tyre wear. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu/RIVM Report 2016-0026, Bilthoven, The Netherlands. <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/617930/2016-0026.pdf?sequence=3>

- RIVM; Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2017): Verschoor, A., & Van den Broek, I. Potential measures against microplastic emissions to water. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu/RIVM Report 2017-0193, Bilthoven, The Netherlands. <https://rivm.openrepository.com/handle/10029/622058>
- RIVM; Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2019): Factsheet over microplastics in Nederlandse wateren <https://www.rivm.nl/documenten/factsheet-over-microplastics-in-nederlandse-wateren>
- RIVM; Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2019): Zwart, M.H., & de Valk, E.L. Microplasticvezels uit kleding: Achtergrondrapport mogelijke maatregelen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu/RIVM Report 2019-0013, Bilthoven, The Netherlands. <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/623073/2019-0013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vianello, A., Jensen, R.L., Liu, L., & Vollertsen, J. (2019). Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a breathing thermal manikin. *Scientific Reports*, 9(1): 8670. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45054-w>
- Wang, W., Gao, H., Jin, S., Li, R., & Na, G. (2019). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173: 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.113>
- Wang, Y.L., Lee, Y.H., Chiu, I.J., Lin, Y.F., & Chiu, H.W. (2020). Potent impact of plastic nanomaterials and micromaterials on the food chain and human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(5), 1727. DOI: 10.3390/ijms21051727
- Waring, R.H., Harris, R.M., & Mitchell, S.C. (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? *Maturitas*, 115: 64-68. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.06.010>
- Weis, J.S. (2019). Improving microplastic research. *AIMS Environmental Science*, 6: 326-340. DOI: 10.3934/environsci.2019.5.326
- WHO; World Health Organization (2019). Microplastics in drinking-water. Geneva. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/microplastics-in-drinking-water/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/microplastics-in-drinking-water/en/).
- Wick, P., Malek, A., Manser, P., Meili, D., Maeder-Althaus, X., Diener, L., Diener, P.-A.A., Zisch, A., Krug, H. F., & Von Mandach, U. (2010). Barrier capacity of human placenta for nanosized materials. *Environmental Health Perspectives*, 118(3): 432-436. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901200>
- Wright, S.L., Ulke, J., Font, A., Chan, K.L.A., & Kelly, F.J. (2020). Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. *Environment International*, 136: 105411. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105411>
- Wright, S.L., Kelly, F.J. (2017). Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12): 6634-6647. [doi.org/10.1021/acs.est.7b00423](https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423)
- Yuan, D., He, H., Wu, Y., Fan, J., & Cao, Y. (2019). Physiologically based pharmacokinetic modeling of nanoparticles. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 108(1): 58-72. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.10.037>
- Yong, C.Q.Y., Valiyaveetil, S., & Tang, B.L. (2020). Toxicity of Microplastics and Nanoplastics in Mammalian Systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5): 1509. Doi: 10.3390/ijerph17051509
- Zhang, Y., Mortimer, M., & Guo, L. H. (2020). Interplay between engineered nanomaterials and microbiota. *Environmental Science: Nano*, in press. <https://doi.org/10.1039/D0EN00557F>
- Zuccarello, P., Ferrante, M., Cristaldi, A., Copat, C., Grasso, A., Sangregorio, D., ... & Conti, G.O. (2019). Exposure to microplastics (< 10 µm) associated to plastic bottles mineral water consumption: the first quantitative study. *Water research*, 157: 365-371. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.03.091>

**Bijlage**

Werkwijze verkenning  
Microplastics, Milieu  
& Gezondheid

ZonMw heeft in opdracht van het ministerie van IenW deze kennisagenda opgesteld. Om tot deze kennisagenda Microplastics, Milieu en Gezondheid te komen, zijn kennisvragen vanuit beleid, onderzoek en praktijk in beeld gebracht en geprioriteerd. Hiervoor is de volgende werkwijze gehanteerd:

## Fase 1 Kennissynthese

Gestart is met het opstellen van een tekstuele weergave van de bestaande kennis en kennishiaten over de gezondheidseffecten van microplastics. Hiervoor is gebruik gemaakt van bestaande reviews, aangevuld met recente internationale bronnen. De projectleiders van de huidige onderzoeksprojecten binnen het ZonMw programma Microplastics & Health hebben input geleverd en in samenwerking met het RIVM is geanalyseerd welke kennis ontbreekt voor een *Health Impact Assessment*. Tenslotte is deze kennissynthese voorgelegd aan en besproken met een expertpanel van onderzoekers en wetenschappers (zie bijlage 3).

## Fase 2 Kennisbehoefte

In de tweede fase zijn de beleids- en kennisvragen geïnventariseerd bij beleidsmakers en in de praktijk. Hiervoor zijn 16 interviews gehouden met een diverse groep organisaties (zie bijlage 3). Daarnaast is een openbare internetconsultatie uitgezet, waarop 21 reacties zijn gekomen met suggesties voor kennisvragen. De kennisvragen uit de interviews en de internetconsultatie zijn vervolgens geclusterd tot een lijst met 34 kennisvragen.

## Fase 3 Kennisprioritering

De opgehaalde beleids- en kennisvragen uit beleid, onderzoek en praktijk zijn vervolgens geprioriteerd. Hiervoor is aan betrokkenen gevraagd uit de lijst van 34 kennisbehoeften 5 tot 10 kennisbehoeften te kiezen die volgens hen het belangrijkste waren. Tevens is hen gevraagd clusters van deze prioriteiten te rangschikken, waarin de prioriteiten waren onderverdeeld in vier subcategorieën (blootstelling en meetmethoden; gezondheidseffecten in modelsystemen individuen en groepen; welke bronnen van microplastics veroorzaken het grootste gezondheidsrisico; wat is de bijdrage van maatregelen en procedures). 16 personen hebben deze prioritering ingevuld.

De uitkomst van deze prioritering is vervolgens besproken met een afvaardiging vanuit wetenschap, praktijk en beleid. De prioritering gaf een bevestiging van de belangrijkste kennisbehoeften die in fase 1 en fase 2 naar boven kwamen.



**Bijlage**

A large, stylized number '3' in a dark teal color, centered on the page. The number is composed of two thick, curved strokes that meet at the top and bottom, creating a central negative space.

Betrokken personen  
en organisaties

# Betrokkenen

## Expertpanel

Dick Vethaak, Deltares/VU  
Susanne Waaijers – van der Loop, RIVM  
Ingeborg Kooter, TNO  
Bart Koelmans, Wageningen University & Research  
Juliette Legler, Universiteit Utrecht  
Leo Koenderman, UMC Utrecht

## Geïnterviewde organisaties

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Duurzame Leefomgeving en Circulaire Economie  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Water, Ondergrond en Marien  
Ministerie Volksgezondheid Welzijn en Sport, directie Publieke Gezondheid  
Ministerie Volksgezondheid Welzijn en Sport, directie Voeding, Gezondheidsbescherming en Preventie  
Ministerie Volksgezondheid Welzijn en Sport, directie Sport  
TNO  
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)  
Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA)  
Topsector Life Sciences and Health  
TKI Watertechnologie  
Topsector Chemie  
Longfonds  
Modint Brancheorganisatie Mode Interieur Tapijt  
Plastics Europe  
Kennisinstituut duurzaam verpakken (KIDV)  
RecyBEM  
Vereniging van waterbedrijven in Nederland (VEWIN)  
KWR Water

## Input gegeven via internetconsultatie

Vereniging van Rivierwaterbedrijven (RIWA-Rijn)  
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)  
TI-COAST  
SHELL  
Deltares  
Nanoconsult  
Milieu Centraal  
Plastic Soup Foundation  
Koffie en Thee Nederland

Onderzoekers van:  
Vrije Universiteit Amsterdam  
Universiteit Utrecht  
Universiteit Twente  
Universiteit Wageningen  
Universiteit Groningen



ZonMw

Laan van Nieuw Oost-Indië 334  
2593 CE Den Haag  
Postbus 93245  
2509 AE Den Haag  
Telefoon 070 349 51 11  
info@zonmw.nl  
www.zonmw.nl

Sociale media

[www.facebook.com/zonmwNL](http://www.facebook.com/zonmwNL)  
[www.twitter.com/zonmw](http://www.twitter.com/zonmw)  
[www.linkedin.com/company/zonmw](http://www.linkedin.com/company/zonmw)  
[www.youtube.com/ZonMwTV](http://www.youtube.com/ZonMwTV)