



Microplastics in ons lichaam

Kennisagenda 2025:
de feiten, de vragen
en de koers

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	5
Internationale stand van zaken	5
De oogst van 7 jaar ZonMw-subsidies	5
Onderzoek voortzetten en uitbreiden	6
Samen werken aan afgewogen beleid	6
1 Inleiding	7
1.1 Kennisagenda Micro- en nanoplastics en Gezondheid 2025	7
1.2 Begrippen en context	9
2 Gezondheid en microplastics: een kennissynthese	13
2.1 Meetmethoden en standaardisering	14
2.2 Wetenschap op weg naar een risicobeoordeling	15
3 De oogst van het ZonMw-programma	23
3.1 Bronnen en verspreiding van MNP	24
3.2 Externe blootstelling	24
3.3 Interne blootstelling	25
3.4 Gevaar (negatieve gezondheidseffecten)	26
3.5 Gezondheidsrisico door MNP	26
3.6 Op weg naar oplossingen	27
3.7 Conclusie	28
4 Kennisvragen vanuit beleid en praktijk	29
4.1 Bronnen en verspreiding van MNP	29
4.2 Methodologie en standaardisatie	30
4.3 Externe en interne blootstelling	30
4.4 Gezondheidseffecten	31
4.5 Risicobeoordeling	31
4.6 Handelingsperspectief (beleid, innovatie en gedrag)	32
5 Conclusies en aanbevelingen	33
5.1 Aanbevelingen voor verder onderzoek	34
5.2 Beleid, innovatie en gedrag	35
5.3 Conclusie: complexe problematiek vraagt om samenwerking	38
Lijst met afkortingen	39
Bijlagen	40
1. Betrokken personen en organisaties	40
2. Literatuur	42
Colofon	47

Voorwoord

Toen ZonMw 7 jaar geleden begon met het stimuleren van onderzoek naar de gezondheidseffecten van microplastics, was er nog maar weinig aandacht voor dit onderwerp. Intussen heeft volgens een onderzoek van de Rijksuniversiteit Groningen 86% van de Nederlanders van microplastics gehoord en velen maken zich zorgen over de mogelijke gezondheidsrisico's. Media in binnen- en buitenland berichten regelmatig over wetenschappelijke ontdekkingen, zoals de aanwezigheid van microplastics in bloed en zelfs in onze hersenen. Het is duidelijk dat microplastics alomtegenwoordig zijn. En er is al zo veel plastic in het milieu, dat de hoeveelheden microplastics alleen maar zullen toenemen. Ook is bekend dat we de meeste microplastics binnenkrijgen door ze in te ademen, met name thuis en op het werk.

Deze feiten zijn bekend dankzij het internationale wetenschappelijke onderzoek, waaraan Nederland een meer dan gemiddelde bijdrage levert. Met gepaste trots kan ik zeggen dat het ZonMw-programma Microplastics & Health een belangrijke factor is geweest in dat Nederlandse succes. De onderzoekers aan verschillende kennisinstellingen en bedrijven zijn mede dankzij dit programma gaan samenwerken onder de paraplu van het publiek-private consortium MOMENTUM. Dat sluit aan bij de ZonMw-strategie: we signaleren een belangrijk aandachtsgebied, we stimuleren onderzoek en we bevorderen dat er een samenhangende onderzoeksinfrastructuur ontstaat. Dat is uiteraard alleen mogelijk dankzij onze opdrachtgevers, in dit geval de ministeries van Volksgezondheid, Welzijn en Sport en Infrastructuur en Waterstaat, die ons signalement ter harte genomen hebben en het programma mogelijk maken. Dankzij deze ministeries en enkele andere geldschieters kon MOMENTUM 1.0 worden gevolgd door nog 7 projecten, MOMENTUM 2.0 en het vervolg daarop dat inmiddels wordt voorbereid.

Zoals uit deze kennisagenda blijkt, is er inmiddels veel meer bekend over de mate waarin mensen zijn blootgesteld aan microplastics. Ook begint meer duidelijk te worden over de aanwezigheid en effecten van microplastics in ons lichaam. Zo zorgen microplastics hoogstwaarschijnlijk voor een verhoogde ontstekingsneiging in de longen en andere weefsels. Toch is er ook nog veel onbekend. En dat is ook logisch bij zo'n jong vakgebied, waarin nog veel pionierswerk nodig is. Zo is het nog een grote uitdaging om microplastics snel en betrouwbaar te meten bij grote aantallen mensen, terwijl dit wel noodzakelijk is voor epidemiologisch onderzoek.

Er is dus in de komende jaren nog veel meer onderzoek nodig. ZonMw hoopt daar structureel aan te kunnen bijdragen. Naast MOMENTUM 3.0 is er bijvoorbeeld behoefte aan meer onderzoek op het gebied van gedrag en epidemiologie. De tijd is ook rijp om na te denken over wat we met zijn allen kunnen doen om blootstelling aan microplastics te beperken. Dat begint met een dialoog tussen verschillende betrokkenen: overheidsorganisaties, milieu- en consumentenorganisaties, bedrijven en onderzoekers.

ZonMw neemt graag de handschoen op om dat gesprek op gang te helpen, zodat de zorgen en belangen van verschillende spelers aan de orde kunnen komen. De eerste stappen voor die dialoog zijn al gezet en de input van veel organisaties is meegenomen in deze kennisagenda. Met deze agenda begint een nieuwe uitdaging: beter zicht krijgen op de gezondheidsrisico's en intussen werken aan manieren om (kwetsbare) burgers daartegen te beschermen. Ik wens alle betrokkenen, onderzoekers en andere stakeholders de komende jaren veel succes bij dit belangrijke maatschappelijke onderwerp.

Arfan Ikram,
Voorzitter ZonMw

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 polymeersamenstelling en bedekt met uiteenlopende chemische en microbiologische verontreinigingen.



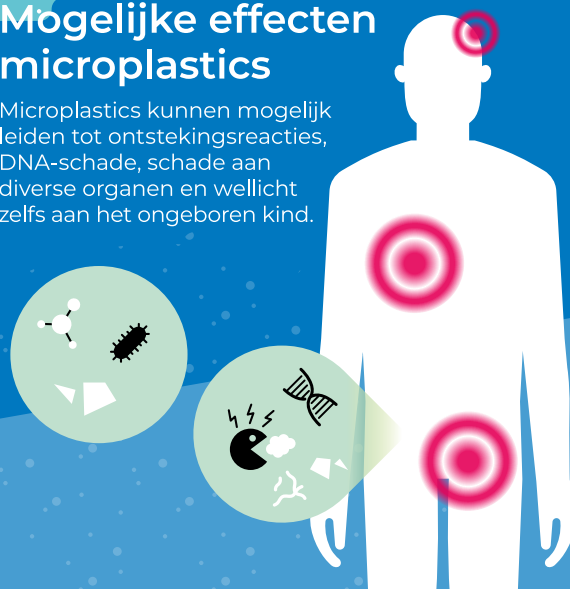
Microplastics in ons lichaam

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.



Samenvatting

Deze actualisering van de kennisagenda laat zien dat er veel gebeurd is sinds 2020, toen ZonMw de vorige verkenning en kennisagenda rond microplastics en gezondheid uitbracht onder de titel 'Wat doen microplastics in ons lichaam?'. Er is veel nieuwe kennis verzameld, mede dankzij het ZonMw-programma Microplastics & Health en initiatieven zoals het Europese CUSP. En misschien nog wel belangrijker: er is een bloeiende samenwerking ontstaan tussen Nederlandse onderzoeksgroepen op het gebied van micro- en nanoplastics (MNP) en gezondheid.

Toch moeten we ook constateren dat 5 jaar relatief kort is voor een jong vakgebied dat zo'n complexe problematiek moet aanpakken. Hoe graag we ook eenduidige uitspraken zouden doen over de hoeveelheden en de concrete gezondheidseffecten van diverse MNP in ons lichaam, dit is helaas nog niet mogelijk. Wel is duidelijk dat MNP overal in het lichaam aangetoond kunnen worden, dat de blootstelling individuele verschillen vertoont en dat MNP hoogstwaarschijnlijk effecten hebben in onze cellen, weefsels en organen.

Deze Kennisagenda vat op hoofdlijnen samen wat er inmiddels bekend is over MNP en gezondheid, welke kennisvragen er leven bij diverse organisaties in de samenleving, en doet op grond daarvan aanbevelingen voor de komende jaren. Gegeven de snelle ontwikkelingen in dit vakgebied is een termijn van 5 jaar daarbij nog net realistisch.

Internationale stand van zaken

Zoals hoofdstuk 2 van deze verkenning laat zien, is er internationaal intussen veel onderzoek op gang gekomen naar MNP en de gezondheidseffecten ervan. De kwaliteit van dit onderzoek is zeer wisselend. Het meeste onderzoek is bovendien gedaan met deeltjes die geen realistische afspiegeling vormen van de MNP die mensen binnenkrijgen. Zelfs de eerste stap, het aantonen van MNP in lucht, drinkwater en voeding om de blootstelling te kunnen bepalen, blijkt een grote uitdaging te zijn, zeker voor nanoplastics. Wat wel duidelijk wordt uit het internationale onderzoek (en de analyses hiervan door Nederlandse onderzoeksgroepen) is dat mensen vooral via de lucht worden blootgesteld aan MNP, met name in het binnenmilieu (thuis en op het werk). De effecten die in het laboratorium worden gezien, wijzen op een verhoogde ontstekingsneiging in verschillende weefsels, mogelijke effecten tijdens de embryonale ontwikkeling, een mogelijk verhoogde kans op kanker en op ontregelingen in de hersenen. Het is echter nog niet mogelijk om aan de hand van deze bevindingen een afgewogen risicobeoordeling te geven, die gebaseerd is op een realistische inschatting van de blootstelling en de mogelijke gezondheidseffecten.

De oogst van 7 jaar ZonMw-subsidies

Het MOMENTUM-consortium dat is voortgekomen uit het ZonMw-programma Microplastics & Health en de daarbij aansluitende doorbraakprojecten hebben op verschillende terreinen een sterke basis gelegd en waardevolle successen behaald. Hoofdstuk 3 van deze Kennisagenda geeft hiervan een indruk. Zo zijn er goed gekarakteriseerde MNP van verschillende plastics gegenereerd ten behoeve van het onderzoek naar de negatieve gezondheidseffecten en ook naar de verspreiding van MNP in het lichaam. Dat is een belangrijke stap, want de meeste internationale studies zijn gedaan met gestandaardiseerde deeltjes van slechts één type kunststof (polystyreen).

Er zijn binnen MOMENTUM *in vitro*-systemen opgezet voor het bestuderen van gezondheidseffecten en passage door diverse barrières in het lichaam. Uit dat onderzoek bleek bijvoorbeeld dat de longen ongewenste reacties kunnen vertonen op nylondeeltjes (polyamide), waarbij in elk geval de chemische stoffen uit polyamide een rol spelen. Ook in de darm hebben MNP een versturende invloed, onder meer op de darmbarrière.

Conceptueel is er ook veel werk verricht, bijvoorbeeld in het ontwikkelen van een gestandaardiseerde manier om data uit verschillende studies met elkaar te vergelijken en in benaderingen die de resultaten van laboratoriumonderzoek kunnen 'vertalen' naar de mens. Een ander voorbeeld zijn modellen voor de kinetiek, dat wil zeggen de manier waarop MNP worden opgenomen, door het lichaam verspreid en uitgescheiden.

Een van de opbrengsten van MOMENTUM is een benadering voor de risicobeoordeling, die de basis vormt voor de hoofdstukindeling van deze Kennisagenda. Het risico kan worden berekend uit de blootstelling en de negatieve gezondheidseffecten. Daarbij is kennis nodig over de bronnen en herkomst, de externe blootstelling (de mate waarin we MNP binnenkrijgen), de interne blootstelling (hoe de MNP zich verspreiden door het lichaam) en de negatieve gezondheidseffecten. Zowel de internationale resultaten als de uitkomsten van het door ZonMw gesubsidieerde onderzoek worden in deze categorieën beschreven.

Onderzoek voortzetten en uitbreiden

De huidige onderzoeksconsortia op het gebied van MNP en gezondheid zijn nu bezig de resultaten van de afgelopen jaren te publiceren. Ook is de subsidieaanvraag voor MOMENTUM 3.0 inmiddels door ZonMw ontvangen. Met deze subsidie wordt in de komende jaren onderzoek voortgezet dat met name gericht is op het verder invullen van het kader voor risicobeoordeling. Dit is uiteraard van grote waarde voor het beleid.

Tegelijkertijd is er meer kennis nodig op andere terreinen. Een voorbeeld is de epidemiologie, die inzicht moet geven in de gevolgen van langdurige blootstelling en de gezondheidseffecten bij specifieke groepen die door hun werk, hun leefomgeving of hun gezondheidstoestand mogelijk extra risico lopen. Een ander voorbeeld van beleidsrelevante kennis over MNP is inzicht in de relatie tussen menselijk gedrag en blootstelling. Dergelijk onderzoek moet uiteindelijk antwoord geven op de vraag wat burgers zelf kunnen doen om hun blootstelling te beperken, bijvoorbeeld in hun keuzes rond voeding, kleding en huishouden.

Samen werken aan afgewogen beleid

Nu duidelijk is dat MNP overal in ons lichaam aanwezig zijn en we bovendien weten dat de reeds aanwezige plastics in het milieu aanleiding zullen geven tot nog veel meer MNP in de toekomst, groeit de roep om maatregelen. Tegelijkertijd vervullen plastics belangrijke rollen in essentiële sectoren, waaronder de voedselvoorziening, de gezondheidszorg en het transport. Het is daarom van groot belang dat er een dialoog op gang komt tussen diverse stakeholders, van overheid tot ondernemers en van milieu- en consumentenorganisaties tot onderzoekers. Door gezamenlijk de groeiende kennis op het gebied van MNP en gezondheid te vertalen naar prioriteiten en keuzes, kunnen we in de komende jaren de uitdagingen op dit gebied het hoofd bieden en zowel het milieu als de burgers beschermen tegen ongewenste effecten van micro- en nanoplastics.

1

Inleiding

Er bestaan groeiende zorgen over de mogelijke gezondheidsrisico's door blootstelling aan micro- en nanoplastics (MNP).¹ ZonMw heeft in opdracht van de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS) in 2020 de kennisbehoeften verkend en vervolgens een kennisprogramma Microplastics & Health uitgevoerd. Het is nu tijd voor een nieuwe verkenning en een agenda voor verder onderzoek.

ZonMw houdt zich al sinds 2018 bezig met het onderwerp microplastics (zie figuur 1). Aandacht voor dit onderwerp past goed bij het thema Gezonde Leefomgeving en de focus op preventie en gezondheidsbevordering van ZonMw. In 2019 kreeg ZonMw opdracht van de ministeries van IenW en VWS om een verkenning te doen rond MNP en gezondheid. Dit leidde in 2020 tot de publicatie van de verkenning 'Wat doen microplastics in ons lichaam?'² en een overzichtsartikel in Science.³ Op dat moment liepen al enkele projecten rond het onderwerp microplastics en gezondheid. De verkenning leidde tot een grotere opdracht⁴, waarmee niet alleen meer onderzoek mogelijk werd, maar ook een krachtige impuls werd gegeven tot een brede nationale samenwerking. Deze kreeg vorm in het MOMENTUM-consortium.⁵ In hoofdstuk 3 van deze Kennisagenda gaan we dieper in op de resultaten van het ZonMw-programma Microplastics & Health.

1.1 Kennisagenda Micro- en nanoplastics en Gezondheid 2025

1.1.1 Opdracht en doelgroepen

Vanuit het besef dat het onderzoek naar microplastics en gezondheid een vervolg nodig heeft, kreeg ZonMw in 2024 de opdracht van de ministeries van VWS en IenW om te verkennen wat nu de stand van zaken is van het wetenschappelijk onderzoek rond MNP en gezondheid, wat de belangrijkste kennisvragen zijn die nu leven bij beleidsmakers, bedrijven en maatschappelijke organisaties en wat de belangrijkste stappen zijn die gezet moeten worden.

Die verkenning heeft geleid tot deze vernieuwde Kennisagenda. De Kennisagenda is primair gericht op beleidsmakers bij de opdrachtgevende ministeries en op de organisaties waarmee ZonMw en MOMENTUM samenwerken bij het ontwikkelen van een aanpak rond MNP en gezondheid. Ook voor onderzoekers kan de Kennisagenda zeker informatief zijn.

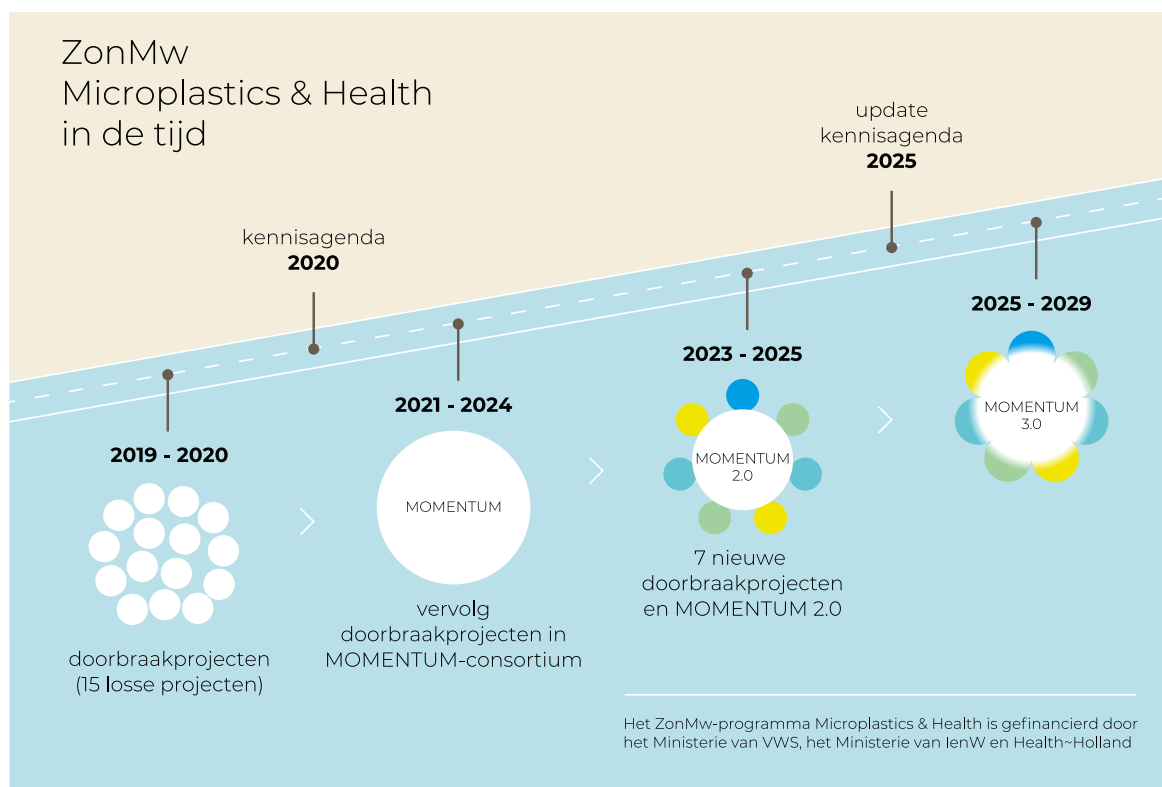
¹ De afkorting MNP wordt hier gebruikt voor micro- en nanoplastics, ook in de betekenis van micro- en nanodeeltjes die (grotendeels) uit plastic bestaan. Er bestaat overigens nog geen internationaal geaccepteerde definitie van dit begrip, met een heldere afgrenzing ten opzichte van andere deeltjes.

² https://www.zonmw.nl/sites/zonmw/files/typo3-migrated-files/Verkenning_microplastics_NL_2020.pdf

³ Vethaak AD, Legler J. Microplastics and human health. *Science*. 2021;371(6530):672-674

⁴ www.zonmw.nl/nl/programma/microplastics-health

⁵ <https://momentummicroplastics.nl/>



Figuur 1 – Tijdlijn van het ZonMw-programma. Uit de doorbraakprojecten die in 2019 gehonoreerd werden, groeide dankzij het ZonMw-programma Microplastics & Health het eerste MOMENTUM-consortium. In 2024 werd het onderzoek van MOMENTUM 1.0 voortgezet in MOMENTUM 2.0 en gingen er 7 nieuwe doorbraakprojecten van start. Deze werden in 2025 afgerond. Eind 2025 start MOMENTUM 3.0 dat onderzoek zal doen op een beperkt aantal kennisvragen. De nadruk ligt daarbij op continuering van het bestaande onderzoek. Voor essentiële nieuwe stappen, zoals richting epidemiologie, gedrag of methode van kwantificatie zou aanvullende financiering nodig zijn.

1.1.2 Afbakening

Deze Kennisagenda richt zich op de gezondheidsrisico's van MNP voor mensen. Om deze risico's te kunnen inschatten en begrijpen is kennis nodig over het ontstaan van MNP, hun verspreiding door het buiten- en binnenmilieu, de blootstelling van mensen aan MNP (externe blootstelling), de opname, verspreiding, eventuele afbraak en uitscheiding van MNP (interne blootstelling) en de ongewenste effecten van MNP in het lichaam. In de term 'risico' komen blootstelling en ongewenste gezondheidseffecten bij elkaar (zie figuur 2). Vanuit het oogpunt van beleid is daarbij vooral van belang wat de drempelwaarde is, de concentratie waaronder geen effect waargenomen of voorspeld wordt.

Het thema van de gezondheidsrisico's van MNP voor mensen raakt aan thema's die niet direct tot deze Kennisagenda behoren, maar die zeker wel elders geadresseerd moeten worden. Het gaat bijvoorbeeld om kennis over polymeerchemie en de productie van plastics, de milieuaspecten, de gezondheidseffecten bij dieren en de gezondheidsgevolgen van maatregelen om plastics terug te dringen. Deze raakvlakken worden waar relevant in deze Kennisagenda benoemd, maar zullen niet primair in het ZonMw-programma Microplastics & Health worden onderzocht.



Figuur 2 – De relatie tussen gevaar (negatief gezondheidseffect, hazard) en risico. Wie niet of nauwelijks aan een bepaald gevaar is blootgesteld, zoals iemand die niet in de zee vol haaien zwemt, loopt geen risico. Datzelfde geldt voor iemand die is blootgesteld aan heel veel onschuldige visjes. De combinatie van blootstelling en gevaar bepaalt het risico.

1.1.3 Doelstellingen

Deze verkenning dient een aantal doelen:

- Inventariseren wat het **internationale wetenschappelijk onderzoek** naar MNP en gezondheid in de afgelopen jaren heeft opgeleverd.
- Inventariseren wat de belangrijkste uitkomsten zijn van **het door ZonMw gesubsidieerde onderzoek** naar MNP en gezondheid.
- Hieruit de **aanbevelingen** destilleren die relevant zijn voor beleid en de praktijk.
- Vaststellen **wat de voornaamste kennisbehoeften en kennisvragen zijn** bij beleidsmakers, bedrijven en maatschappelijke organisaties en wat er nu nodig en mogelijk is in termen van wetenschappelijk onderzoek om te komen tot beter onderbouwde adviezen, innovaties en beleid rond MNP.

1.1.4 Werkwijze

Deze verkenning is tot stand gekomen dankzij de input en de inspanningen van veel verschillende mensen en organisaties. De redactiecommissie heeft zich inhoudelijk laten bijstaan door een groep van experts (zie [bijlage 1](#)). De stand van zaken in de vakliteratuur (hoofdstuk 2) is gebaseerd op een globale scan van de belangrijkste overzichtsartikelen uit de afgelopen jaren. De oogst tot dusver van het ZonMw-programma Microplastics & Health (hoofdstuk 3) is beschreven aan de hand van de meest recente verslagen van de projecten, aangevuld met input van de projectleiders.

De kennisbehoeften en kennisvragen uit het veld zijn opgehaald in gesprekken met diverse stakeholders (zie [bijlage 1](#)) en een online enquête waartoe 83 organisaties zijn uitgenodigd en die door 35 mensen is ingevuld. Deze kennisvragen zijn vervolgens inhoudelijk getoetst bij experts, waarbij ook deelvragen gebundeld zijn tot meer omvattende vragen (hoofdstuk 4). De conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 5) bouwen voort op de input vanuit beleid, wetenschap, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties.

1.2 Begrippen en context

1.2.1 'MNP' is verzamelnaam voor zeer uiteenlopende deeltjes

In het algemeen worden plasticdeeltjes⁶ die kleiner zijn dan 5 mm tot de microplastics gerekend. Bij zeer kleine plasticdeeltjes (kleiner dan 1 µm) spreekt men van nanoplastics. In deze kennisagenda gebruiken we in het algemeen de generieke term micro- en nanoplastics (MNP). Voor de gezondheidseffecten zijn vooral deeltjes relevant die kleiner zijn dan enkele tientallen micrometers.

⁶ In de Europese REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) richtlijn worden "Synthetic Polymer Microparticles" (SPM) gedefinieerd. MNP zijn te beschouwen als SPM met diverse chemische additieven en een 'coating' ('corona' of 'biofilm') van chemische en/of microbiologische aard.

Er bestaat een grote variëteit aan MNP, zowel wat betreft het soort plastic (polymere samenstelling) als de grootte, additieven en de vorm en de biochemische en microbiologische samenstelling van de 'vracht' die ze bij zich dragen (zie figuur 3). Deze verschillen kunnen van invloed zijn op de opname van MNP, de mate waarin zij zich door het lichaam kunnen bewegen (interne blootstelling) en/of op de gezondheidseffecten van de deeltjes.

1.2.2 Hoe kunnen MNP gezondheidseffecten hebben?

In principe zijn er 3 wegen waarlangs MNP schadelijk kunnen zijn:

1. **Deeltjestoxiciteit:** de aanwezigheid van deeltjes kan van invloed zijn op het functioneren van lichaamscellen en/of afweerreacties veroorzaken. Ook de laag eiwitten en andere moleculen rond MNP (corona) kan daarbij een rol spelen.
2. **Chemische toxiciteit:** de meeste plastics bevatten additieven, chemische stoffen die eruit kunnen lekken en schadelijke gevolgen kunnen hebben. De corona kan chemische verontreinigingen bevatten uit het milieu rond MNP.
3. **Microbiologische effecten:** de corona rond MNP kan bacteriën en andere ziekteverwekkers bevatten.

1.2.3 MNP zijn overal

Plastic is onmisbaar voor de huidige economie en maatschappij. Voor hygiënische verpakkingen, betaalbare kleding, in huishouding en industrie, in landbouw, sport, vervoer, gezondheidszorg en vele andere toepassingen - overal leveren plastics hun bijdrage. MNP ontstaan soms tijdens het gebruik, maar vooral uit plastic afval. Er is al zo veel plastic in het milieu aanwezig, dat de hoeveelheid MNP de komende decennia hoe dan ook blijft toenemen, zelfs al zou het gebruik van plastic drastisch teruggedrongen worden.

MNP zijn vrijwel overal aanwezig. Het is dan ook onvermijdelijk dat mensen blootgesteld worden aan MNP, zowel in het binnenmilieu als buiten, via de lucht die we inademen, via ons water en ons voedsel. Zoals we in Hoofdstuk 2 en 3 zullen zien, zijn MNP aangetroffen in vrijwel alle lichaamsvloeistoffen en weefsels van ons lichaam.

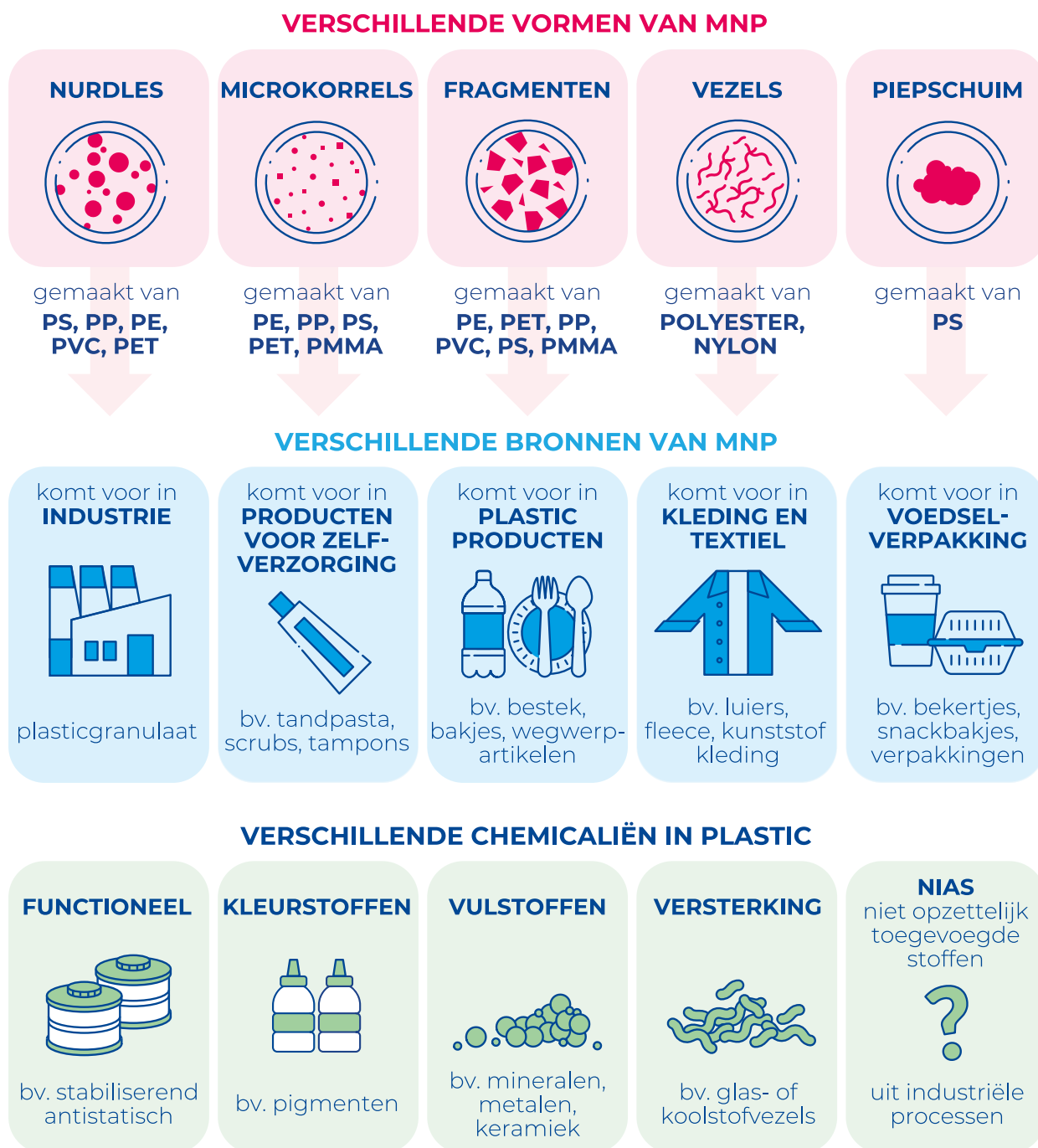
1.2.4 Groeiende bezorgdheid

Er is begrijpelijkerwijs veel onrust ontstaan door berichten over de aanwezigheid van MNP in ons bloed, in moedermelk, in inwendige organen en zelfs in onze hersenen en het vruchtwater. Ook wordt steeds duidelijker dat MNP een negatieve impact kunnen hebben op ecosystemen. Dit heeft ertoe geleid dat steeds meer mensen zich afvragen wat we kunnen doen om het ontstaan van MNP terug te dringen en onze blootstelling te verminderen. Tegelijkertijd bestaat er discussie over de kwaliteit van sommige studies. En uiteraard wil men weten wat de risico's zijn van die alomtegenwoordige plasticdeeltjes, voor onze gezondheid en voor de natuur, en wat de mogelijkheden voor preventie zijn. Zowel individuele burgers als consumentenorganisaties, milieuorganisaties, bedrijven en andere partijen zijn in toenemende mate betrokken bij het maatschappelijke debat over MNP.

1.2.5 Op zoek naar een wetenschappelijke onderbouwing van beleid

Om gerichte maatregelen te nemen ter bescherming van ecosystemen en de gezondheid van mens en dier, is kennis nodig, bijvoorbeeld over de rol van specifieke polymeren bij gezondheidsrisico's, en over (alternatieve) polymeren die wellicht minder schadelijk zijn. Ook voor het prioriteren van maatregelen is het belangrijk om de impact van de maatregel op volksgezondheid en/of milieu te kunnen inschatten.

Vanuit het voorzorgsbeginsel en met de kennis dat MNP doordringen in het lichaam kan nu al gestreefd worden naar het beperken van de blootstelling van mensen aan MNP. Het voorzorgsbeginsel gaat ervan uit dat soms maatregelen nodig zijn om toekomstige schade te voorkomen, ook als nog niet in detail duidelijk is wat die schade zal zijn. Met name bij onomkeerbare processen, bijvoorbeeld wanneer plastic in het milieu belandt dat geleidelijk verweert tot MNP, kan het toepassen van het voorzorgsprincipe uiteindelijk veel maatschappelijke kosten en schade voorkómen.



Figuur 3 – MNP zijn zeer divers, zowel qua vorm en samenstelling, als de bronnen en de verschillende chemische stoffen die erin zitten. (Bron CC BY Promoscience. Aangepast van Zurub et al. (2023), GRID-Arendal (2020) en Hansen et al. (2023).)



Vanuit het voorzorgsbeginsel is ook de vraag te stellen of we het gebruik van plastics moeten terugdringen, om verdere toename van de blootstelling aan MNP terug te dringen. Voor een antwoord op deze vraag is een bredere analyse nodig, waarin de specifieke toepassingen van plastics en de alternatieven en hun (gezondheids)risico's moeten worden meegenomen.

Bij het zoeken naar een onderbouwing voor beleid is een pragmatische benadering gewenst. De grote aantallen verschillende plastics, de grote diversiteit in MNP en de alomtegenwoordigheid van MNP maken dat het vrijwel onmogelijk is om volledig te zijn bij een analyse van de gezondheidsrisico's. Het is dan ook van belang om op zoek te gaan naar situaties (werk, thuissituatie, etc.), polymeren en vormen van MNP die gepaard gaan met een relatief groot gezondheidsrisico. De kennis die nu verzameld is en verzameld wordt, biedt aanknopingspunten voor een pragmatische benadering, bijvoorbeeld door hotspots te herkennen waar de blootstelling aan MNP hoog is.

2

Gezondheid en microplastics: een kennissynthese

De laatste jaren wordt in toenemende mate systematisch wetenschappelijk onderzoek gedaan naar de blootstelling aan MNP. Zowel binnen Nederland als wereldwijd groeit de belangstelling voor de gezondheidseffecten van MNP. Zonder volledigheid te claimen zullen we hier de belangrijkste trends in dat internationale onderzoek benoemen.

In de ruim 70 jaar dat plastics bestaan, hebben micro- en nanoplastics (MNP) zich wereldwijd verspreid. Sinds enkele jaren groeit het onderzoek naar de milieu- en gezondheidseffecten van MNP. Zo werkt binnen Europa CUSP⁷ (het Research Cluster to Understand the Health Impacts of Micro- and Nanoplastics) aan standaardisering, harmonisering en kennisontwikkeling op het gebied van MNP. CUSP onderzoekt ook blootstelling en gezondheidseffecten. In hoofdstuk 3 komt het Nederlandse onderzoek naar MNP en gezondheid aan de orde, gefinancierd vanuit het ZonMw-programma Microplastics & Health. In het huidige hoofdstuk staat het internationale onderzoek centraal.

Leeswijzer en verantwoording

Het eerste gedeelte van dit hoofdstuk (2.1) is gewijd aan meetmethoden en standaardisering. In het tweede gedeelte (2.2) wordt de stand van zaken weergegeven in het internationale onderzoek naar blootstelling en gezondheidseffecten. Dit gedeelte is tot stand gekomen op grond van een globale scan van de vakliteratuur, gefocust op reviewartikelen. Aan de hand van tevoren geformuleerde inclusie- en exclusiecriteria werd een search gedaan in de Scopus en PubMed databases. De gevonden reviewartikelen werden beoordeeld op hun interne kwaliteitseisen. Dit leverde 32 reviewartikelen op, waarvan de meest saillante conclusies werden samengevat in 2.2. De artikelen en andere bronnen waarop dit hoofdstuk gebaseerd is, staan vermeld in de literatuurlijst in [bijlage 2](#). Hoewel het geen volledige systematische review is van de vakliteratuur, geeft het hoofdstuk een globale indruk van de stand van zaken van het wetenschappelijk onderzoek naar MNP en gezondheid, als aanvulling op de uitkomsten van het onderzoek dat door ZonMw gefinancierd is en dat in hoofdstuk 3 aan de orde komt.

⁷ <https://cusp-research.eu>

2.1 Meetmethoden en standaardisering

Betrouwbare gevoelige meetmethoden zijn een essentiële voorwaarde om een duidelijk beeld te krijgen van blootstelling aan MNP en de gezondheidseffecten ervan. Hoe kleiner de deeltjes, des te groter is de uitdaging. Naast optimale meetmethoden zijn afspraken nodig over het hele proces van bemonstering, verwerking en meting om onderling vergelijkbare resultaten te verkrijgen en te voorkomen dat er bij de bemonstering MNP in het monster terechtkomen (contaminatie).

2.1.1 Meetmethoden

Voor het wetenschappelijk onderzoek naar MNP zijn inmiddels verschillende meetmethoden ontwikkeld (zie figuur 4). Daarmee kunnen MNP worden vastgesteld in lucht, water, bodem en in verschillende biologische matrices (weefsels, cellen en uitscheidingsproducten van planten, dieren, en mensen). De methoden zijn echter nog in ontwikkeling en elke methode heeft zijn sterke en zwakke kanten. De rol van diverse meetmethoden en van benaderingen zoals machine learning (artificial intelligence) zal in de komende jaren verder uitkristalliseren. Welke methode het meest geschikt is, hangt altijd ook af van de doelstelling van het onderzoek: gaat het vooral over aantallen en hoeveelheden MNP, of ook de vorm en de chemische samenstelling? Moeten MNP gemeten worden in lucht, water of een biologische matrix? Is de locatie van MNP in weefsels of cellen relevant? Naast metingen voor wetenschappelijk onderzoek moet meer duidelijkheid komen over de optimale methoden voor de monitoring van lucht, drinkwater, oppervlaktewater, zeewater, bodem, slib, voeding en consumentenproducten.

Uitdagingen

Een grote uitdaging wordt gevormd door de kleinste deeltjes (nanoplastics). Aangezien juist deze deeltjes potentieel grote biologische effecten hebben, is het (door)ontwikkelen en standaardiseren van meetmethoden een belangrijke prioriteit. Juist voor deze deeltjes is de gevoeligheid van conventionele meetmethoden vaak onvoldoende. Onderzoekers zijn daarom aangewezen op dure, trage methoden die niet altijd even robuust zijn.

Voor het kwantificeren en analyseren van MNP in voeding en andere biologische matrices (waaronder ook ontlasting en lichaamsvloeistoffen) wordt vaak gebruik gemaakt van een voorbewerking die het organische materiaal oplost. Verschillende (combinaties van) stoffen zijn gebruikt, elk met hun eigen voor- en nadelen. Een nadeel kan zijn dat de locatie van de deeltjes in het weefsel op deze manier niet bepaald kan worden. Ook kan er bij deze benadering een belangrijk deel van de biologische en chemische 'vracht' verdwijnen die de MNP oorspronkelijk bij zich droegen.

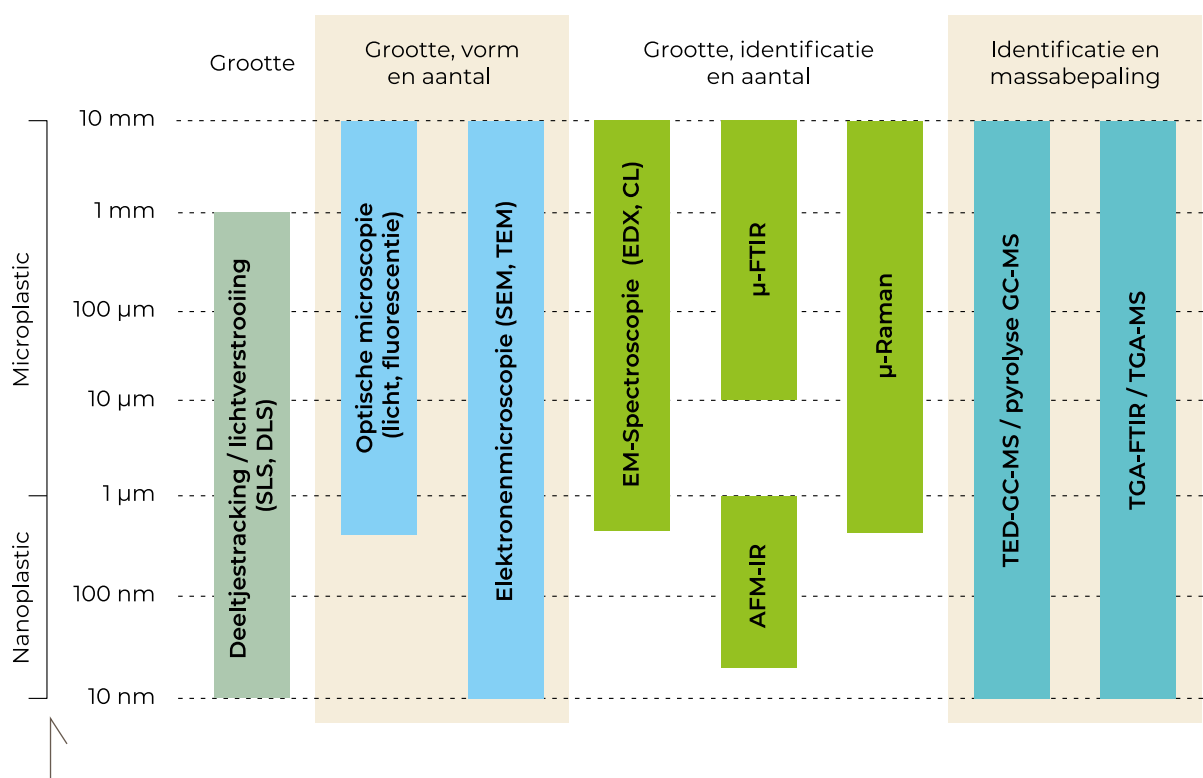
2.1.2 Kwaliteit en standaardisering

De kwaliteit⁸ van het (internationale) onderzoek naar MNP en de vakliteratuur over dit onderwerp is niet altijd van het gewenste niveau. Aandacht voor onderzoekskwaliteit is dan ook van groot belang. Ook heldere verslaglegging en FAIR-data zijn noodzakelijk voor de verdere ontwikkeling van dit nieuwe wetenschapsveld. Om de onderlinge uitwisselbaarheid te bevorderen, is op sommige terreinen standaardisatie gewenst. Eenduidige afspraken vormen ook een goede basis voor toekomstige regelgeving, monitoring en handhaving.

Aandacht voor kwaliteit is nodig in het gehele meetproces, van bemonstering tot de keuze van meetmethoden en de procesbewaking ter voorkoming van contaminatie. Kwaliteitsbewaking is ook van groot belang om te zorgen dat relevante referentiematerialen inclusief modeldeeltjes beschikbaar zijn en op de juiste manier worden gebruikt. In dit relatief jonge vakgebied wordt nog gewerkt aan consensus over de optimale aanpak. Standaardisatie is echter geen garantie voor kwaliteit.

Het MNP-veld zou op het gebied van standaardisering en bemonstering meer gebruik kunnen maken van de kennis en afspraken in andere kennisgebieden, zoals de analytische en milieuchemie, het onderzoek naar voedselveiligheid en het nanomaterialenveld, rekening houdend met de verschillen met het meten van MNP. De onder Meetmethoden genoemde uitdagingen en de noodzaak tot voorbewerking moeten eveneens worden geadresseerd bij het standaardiseren van metingen in voeding en andere biologische matrices. Doordat plastics chemisch gezien sterke overeenkomsten vertonen met organisch materiaal, zijn soms verschillende benaderingen nodig in verschillende matrices.

⁸ Quality Assessment/Quality Control, kortweg QA/QC.



Figuur 4 – Meetmethoden voor MNP bij verschillende vraagstellingen.

Zoals uit de figuur blijkt, hangt het vooral af van de vraagstelling welke methode het best geschikt is.

De verstrooiing van licht kan gebruikt worden om de grootte van deeltjes vast te stellen. Lichtmicroscopie kan ook de vorm bepalen, maar is alleen geschikt voor deeltjes die groter zijn dan de golflengte van licht.

Verschiede vormen van elektronenmicroscopie kunnen wel de aller kleinste deeltjes in beeld brengen.

Spectroscopische methodes gebruiken röntgenstraling, infraroodstraling of zichtbaar licht om de moleculaire kenmerken van deeltjes te meten. Soms worden zij gecombineerd met microscopische technieken,

zoals bij AFM-IR (atomic force microscopy gecombineerd met infraroodspectroscopie), µ-FTIR Micro-Fourier Transform infraroodspectroscopie en micro-Raman spectroscopie zijn voorbeelden van spectroscopische technieken met verschillende aanvullende analysemethoden.

Om MNP te kunnen karakteriseren en hoeveelheden (massa) te kunnen meten, wordt vaak gebruik gemaakt van warmte om de deeltjes te ontleden (pyrolyse) of nader te analyseren, waarna andere analysemethoden zoals gaschromatografie en massaspectrometrie worden ingezet om de chemische samenstelling te bepalen.

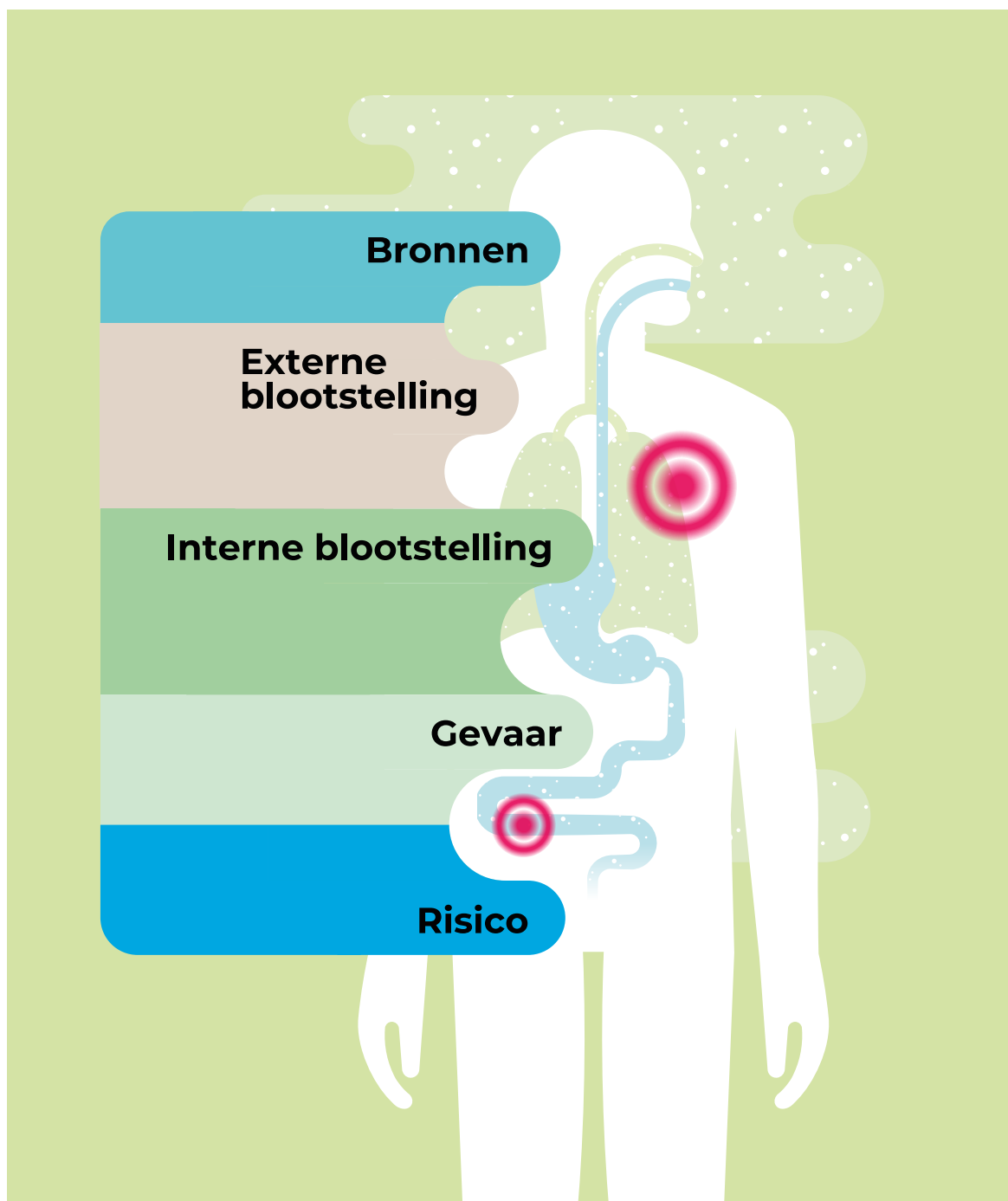
Aangepaste versie van figuur 4 uit 'Low particle Emissions and Low Noise Tyres' (LEON-T), D3.1, v1.0, TNO 2022.

Realistisch bemonsteren

Bij (het standaardiseren van) de bemonstering zou idealiter ook rekening gehouden moeten worden met realistische scenario's. De uiteindelijke blootstelling hangt immers sterk af van gedrag, omgeving (thuis/werk/buiten) en de aanwezige kunststoffen. Bij verpakkingsmaterialen, huishoudelijke artikelen en huishoudelijke consumptiegoederen wordt het vrijkomen van MNP waarschijnlijk voor het grootste deel bepaald door de manier waarop zij worden gebruikt. Er wordt gewerkt aan statistische methoden om ondanks deze variatie een inschatting te kunnen maken van de reële externe blootstelling. Een goed gefundeerde schatting die op de korte termijn gereed is, kan voor wetenschap en beleid al waardevol zijn, in afwachting van meer gedetailleerde bepalingen.

2.2 Wetenschap op weg naar een risicobeoordeling

Wetenschappelijke kennis over MNP vormt de basis voor een beoordeling van het risico. Het 'risico' zoals deze term onder meer in de toxicologie gebruikt wordt, is gebaseerd op een kwalitatieve en kwantitatieve analyse van het gevaar (de gezondheidseffecten, de zgn. hazard) en de blootstelling. Om uitspraken te kunnen doen over het MNP-risico, is dus kennis nodig over zowel het gevaar als de blootstelling ([zie ook kadertekst 'Wat is blootstelling'](#)). In het MOMENTUM-consortium is een 'Roadmap to risk assessment' ontwikkeld, die bestaat uit 5 thema's (zie [figuur 5](#)). Deze worden in dit hoofdstuk en hoofdstuk 3 als kapstok gebruikt voor de presentatie van de wetenschappelijke kennis over MNP.




Figuur 5 – De 5 elementen van de risicobeoordeling van MNP.

Nieuwe aanpak van risicobeoordeling in de maak

De wetenschap van de risicobeoordeling is sterk in beweging, zowel rond MNP als in het hele veld van de toxicologie. In de zogeheten 'Next Generation Risk Assessment' (NGRA) aanpak worden 'new approach methodologies' (innovatieve technieken zoals *in vitro*-modelsystemen die gebaseerd zijn op menselijke cellen en *in silico* research met computerdata) ingezet om het traditionele proefdieronderzoek te vervangen. Dit omdat onderzoek met proefdieren zich niet altijd gemakkelijk naar de mens laat vertalen en veel ethische vragen oproept. Zo werkt de Europese organisatie voor voedselveiligheid EFSA aan een 'Roadmap for Action on New Approach Methodologies in Risk Assessment'. Zowel op Europees niveau als in de ontwikkeling van het Nederlandse 'Transitieadvies 2.0' van het Nationaal Comité advies dierproeven-beleid (NCad) wordt de plaats van dierproeven in de risicobeoordeling heroverwogen.

In de NGRA benadering ligt de nadruk op onderzoek dat de verschillende stappen in biologische processen in kaart brengt. Zo worden de wegen zichtbaar tussen blootstelling en ongewenste effecten, de zogeheten Adverse Outcome Pathways (AOP's). Er wordt ook gewerkt aan een fijnmaziger beeld van inwendige blootstelling en gezondheidseffecten, gebaseerd op humane data uit klinisch en epidemiologisch onderzoek, farmacokinetische (PBK) computermodellen die de verspreiding van MNP door het lichaam in kaart brengen en technieken die de vertaalslag van laboratorium naar menselijk lichaam mogelijk maken (zoals de QIVIVE kwantitatieve *in vitro* naar *in vivo*-extrapolatie). Juist bij complexe mengsels zoals MNP biedt deze aanpak meer uitzicht op kennis die relevant is voor de menselijke gezondheid dan de traditionele toxicologische benadering.

2.2.1 Bronnen en verspreiding⁹

MNP worden overal in onze leefomgeving aangetroffen: in de lucht, in het water, in onze voeding en in de bodem. Een (klein) deel betreft primaire MNP, deeltjes die voor een specifiek doel gefabriceerd worden, bijvoorbeeld de inmiddels door de EU verboden microbeads in cosmetica (scrubs). De overgrote meerderheid van de MNP ontstaan door slijtage en degradatie van plastic en plastic-houdende stoffen zoals verf. De MNP die zo ontstaan, zijn zeer divers in grootte, vorm, polymere samenstelling, chemische en microbiologische verontreinigingen ([zie ook 1.2.1](#)). In de bodem bevinden zich relatief veel MNP. Wereldwijd zijn de belangrijkste bronnen van MNP in de bodem rioolslib (voor bemesting), landbouwplastic en plasticafval.

Bronnen die extra aandacht verdienen in de context van menselijke blootstelling, zijn voeding en voedselverpakkingen, huishoudelijke producten en textiel. MNP kunnen in of op onze voeding belanden tijdens industriële processing van voedingsmiddelen of de bereiding van voeding. MNP kunnen bovendien vanuit de lucht als stofdeeltjes op ons voedsel belanden. MNP in landbouwproducten kunnen mede afkomstig zijn uit het water, of opgenomen worden uit de bodem. MNP in zuivel, vlees, vis en andere zeedieren kunnen door de dieren opgenomen zijn uit het milieu of uit hun voeding. Zo kan veevoer een bron zijn van microplastics in vlees en zuivel.

Ook verpakkingen dragen bij aan de aanwezigheid van MNP in voeding. Verschillende factoren kunnen bevorderen dat MNP vrijkomen uit voedselverpakkingen, zoals pH, licht, mechanische slijtage, bewaarduur en temperatuur. Verscheidene producten die regelmatig in huis worden gebruikt, zijn bronnen van MNP. Plastic keukengerei draagt bij aan MNP in onze voeding. Snijplanken, keukenmachines, vershoudbakjes, aanbakkvrije pannen, schoonmaakponsjes en -doekjes, afwasmachines en andere apparaten en huishoudelijke artikelen genereren MNP. Ook consumptiegoederen in het huishouden (tampons, wegwerpdoekjes, vaatwasmiddelen) kunnen bronnen zijn van MNP. Kunststoffen in textiel, zowel in kleding als de stoffering van woningen, zijn bronnen van MNP in de lucht (met name het binnenmilieu) en in het milieu (met name door wassen).

⁹ Met 'Bronnen en verspreiding' (Engels: 'Sources and fate') wordt hier verwezen naar herkomst van MNP en de veranderingen die zij in de loop van de tijd ondergaan, de chemische stoffen die eruit lekken en de biologische en chemische aanhechtingen aan MNP.

2.2.2 Externe blootstelling

MNP dringen langs verschillende routes ons lichaam binnen, met name via de lucht die we inademen en via ons eten en drinken. Blootstelling via lucht en water kan met de huidige methode op hoofdlijnen (totale massa, aantallen microplastics) in kaart worden gebracht. Metingen van nanoplastics en bepalingen van MNP in voeding vormen nog een grote uitdaging ([zie ook 2.1](#)). Bovendien bestaan er vermoedelijk grote verschillen tussen landen, locaties en seizoenen, bijvoorbeeld in de concentratie MNP in lucht, oppervlaktewater en landbouwgrond.

Wat is blootstelling?

In het algemeen wordt met blootstelling bedoeld hoe lang of vaak iemand ergens mee in aanraking komt. Hoe de blootstelling aan MNP gemeten en gekwantificeerd wordt, hangt af van de specifieke vraagstelling van een onderzoek en van het soort gezondheidseffecten dat men wil bestuderen. Als bijvoorbeeld de nadruk ligt op chemische toxiciteit, spelen andere eigenschappen van MNP een rol dan bij onderzoek naar verschillende vormen van deeltjestoxiciteit of microbiologische effecten.

Bij het kwantificeren van de blootstelling kunnen daarom naast aantallen MNP en hun massa ook andere aspecten van belang zijn, zoals polymere samenstelling, vorm, oppervlak, chemische en microbiologische lading. Overal waar hier 'blootstelling' genoemd wordt, gaat het om aantallen en/of de massa van deeltjes en meestal ook om één of meer van deze andere aspecten.

Blootstelling via inademing

Inademing van MNP, met name in het binnenmilieu, is een zeer belangrijke blootstellingsroute. Dat geldt zowel binnenshuis als in diverse arbeidsomstandigheden. De bemonsterings- en meetmethoden om MNP in de lucht vast te stellen, met name nanoplastics, staan echter nog in de kinderschoenen. De vakliteratuur laat dan ook grote verschillen zien in de aantallen gemeten deeltjes in lucht uit het binnen- en buitenmilieu. Grotere stofdeeltjes bereiken meestal de longen niet, maar deeltjes kleiner dan ongeveer 4 µm kunnen tot diep in de longblaasjes doordringen en van daaruit ook de rest van het lichaam bereiken. Van de kleinste MNP is nog maar weinig bekend over de externe blootstelling.

Blootstelling via het maag-darmkanaal

Ook MNP uit voeding en drinkwater vormen een belangrijke blootstellingsroute. Ingeademde MNP die via het slijm in de luchtwegen worden afgevoerd en ingeslikt belanden eveneens in het maag-darmkanaal. Het onderzoek naar MNP in voedingsmiddelen staat nog aan het begin en ook hier zijn de studies tot dusver van zeer wisselende kwaliteit. De hoeveelheden MNP in veel dagelijkse voedingsmiddelen zijn nog niet in kaart gebracht.

Blootstelling via de huid en de (overige) slijmvliezen

Een intacte huid vormt een belangrijke barrière voor invloeden van buitenaf, waaronder MNP. De huid wordt dan ook niet beschouwd als een relevante bron van MNP in onze weefsels en organen. Via slijmvliezen kunnen MNP wel het lichaam binnendringen, bijvoorbeeld afkomstig uit zwemwater (ogen), tandpasta, tandenborstels, mondwater en tampons.

2.2.3 Interne blootstelling

In het kader van de nieuwe benadering van de risicobeoordeling ([zie kadertekst Nieuwe aanpak van risicobeoordeling](#)) is het van belang om te weten of en hoe verschillende soorten MNP worden opgenomen (absorptie), verdeeld over het lichaam (distributie en accumulatie), omgezet worden (metabolisme) en weer uitgescheiden (excretie). Deze begrippen, afgekort als ADME, beschrijven de biokinetiek (toxicokinetiek).

Inzicht in deze processen is vooral verkregen door het meten van de aanwezigheid van MNP in weefsels of de toediening van synthetische MNP aan proefdieren en *in vitro*-modelsystemen. Veruit het meeste onderzoek is verricht met gestandaardiseerde polystyreenbolletjes. Inmiddels worden ook andere polymeren gebruikt ([zie kadertekst MOMENTUM-deeltjes](#)). Computermodellen kunnen bijdragen aan het inzicht in de biokinetiek van MNP.

Aanwezigheid van MNP in verschillende weefsels

Er is veel vooruitgang geboekt in het aantonen van MNP in verschillende weefsels en uitscheidingsproducten van het menselijk lichaam. Micro- en/of nanoplastics zijn aangetoond in vrijwel alle menselijke weefsels en organen, inclusief de hersenen, de placenta en de baarmoeder. Zij komen voor in bloed, moedermelk, sperma, sputum, urine, ontlasting en meconium (de allereerste ontlasting van een pasgeborene; de concentratie MNP in deze meconium is zelfs hoger dan in de reguliere ontlasting van zuigelingen). Het onderzoek richt zich nu op het kwantificeren en visualiseren van MNP in weefsels en andere matrices.

2.2.4 Gevaar (negatieve gezondheidseffecten)

Zoals eerder benoemd ([zie 1.2.2](#)) kunnen MNP gevaar veroorzaken door deeltjestoxiciteit, chemische toxiciteit en microbiologische effecten, of een combinatie daarvan. Voor een risicobeoordeling is het van belang om te begrijpen via welke oorzakelijke stappen (mechanismen) negatieve gezondheidseffecten tot stand komen, en bij welke concentraties.

Voorzichtigheid geboden bij de interpretatie

De vertaalslag van laboratorium naar de mens is een grote uitdaging voor het onderzoek naar risico-beoordeling. Bij de interpretatie van de onderstaande resultaten uit laboratoriumonderzoek is voorzichtigheid geboden. De gebruikte doseringen zijn vaak hoog, vaak is alleen onderzoek verricht met polystyreendeeltjes en er is nog maar nauwelijks onderzoek gedaan met MNP die ontstaan zijn door natuurlijke vertering. Ook gaat het veelal om kortdurende blootstelling. Over de effecten van chronische blootstelling is nog maar weinig bekend. En zo zijn er nog meer uitdagingen, bijvoorbeeld het afbakenen van de effecten van MNP ten opzichte van andere omgevingsfactoren, of juist het bepalen van de gecombineerde effecten van MNP en andere stoffen in het milieu.

Deeltjestoxiciteit

In de afgelopen jaren zijn veel publicaties verschenen over de manieren waarop de aanwezigheid van MNP kan leiden tot gezondheidsschade. Dat kan bijvoorbeeld door de fysieke effecten van de deeltjes of het ontstaan van reactieve zuurstofdeeltjes aan het oppervlak van MNP of de laag eiwitten en andere moleculen op het oppervlak (corona). Dankzij fundamenteel onderzoek in celkweek, *in vitro*-modelsystemen en dierproeven is meer inzicht ontstaan in de mechanismen waardoor MNP ontregelend kunnen werken in cellen, weefsels, organen en orgaansystemen. Er is nu meer kennis beschikbaar over de aanwezigheid van MNP in verschillende organen en weefsels en er begint zich een beeld af te tekenen van de mogelijke schade die daardoor ontstaat.

Chemische toxiciteit

Toxische stoffen die verwerkt zijn in MNP veroorzaken mogelijk meer toxiciteit dan de deeltjes zelf, ook doordat stoffen die uit MNP lekken op andere plekken terecht kunnen komen dan stoffen die zonder tussenkomst van MNP in het lichaam belanden. Toxische stoffen in MNP kunnen overblijfselen zijn van het productieproces van de oorspronkelijke plastics, en bewust of onbewust toegevoegd zijn (bijvoorbeeld weekmakers, antioxidanten of kleurstoffen). Het tempo waarin chemische stoffen uit MNP lekken, wordt mede beïnvloed door de vertering van MNP. Tijdens het verweringsproces en de reis van MNP door het milieu kunnen zij ook toxische stoffen opnemen. De blootstelling aan toxische stoffen via MNP in relatie tot blootstelling via andere bronnen van de toxische stoffen is nog niet goed bekend, maar er is een begin gemaakt met de analyse hiervan.

Microbiologische effecten

MNP die worden uitgescheiden via de ontlasting, komen in aanraking met hoge concentraties virussen en bacteriën die zich aan de MNP kunnen hechten. Ook in het milieu ontmoeten zij virussen, bacteriën, schimmels, sporen en genen (DNA-fragmenten) die resistentie tegen antibiotica overbrengen. De aanwezigheid van ziekteverwekkers, sporen of resistentiegenen op MNP kan additionele gezondheidseffecten hebben, naast bovengenoemde effecten van de MNP zelf en de chemische stoffen die eruit lekken.

Of MNP zulke 'vracht' vervoeren, hangt mede af van hun grootte. Virussen, met een typische diameter van 30-100 nm, kunnen zich ook aan nanoplastics hechten. Bacteriën, met een grootte van 1-5 µm, kunnen meeliften op iets grotere MNP. Onderzoek richt zich momenteel op de mate waarin MNP daadwerkelijk ziekten overbrengen, of DNA-fragmenten die het gedrag van ziekteverwekkers beïnvloeden (resistentie, virulentie). Ook zouden plastic afbrekende bacteriën op MNP het vrijkomen van chemische stoffen kunnen bevorderen.

Corona en biofilm

Rondom MNP vormt zich vaak een laag eiwitten en andere moleculen (corona). Als deze laag (vooral) bestaat uit kolonies van bacteriën en de substanties die zij uitscheiden, spreekt men van een biofilm. De corona of de biofilm is een dynamische laag die voortdurend onder invloed staat van omgevingsfactoren zoals temperatuur, de chemische en de eventuele microbiologische samenstelling.

De laag rondom MNP is van invloed op de eigenschappen van de MNP. Als bijvoorbeeld het drijfvermogen in het milieu toeneemt, verandert de verspreiding van MNP. Ook kan de biofilm of de corona van invloed zijn bij het passeren van barrières in de darm, de longen, de placenta of de hersenen. De laag rondom de MNP kan naast microbiologische ziekteverwekkers ook toxische stoffen bevatten, die hun eigen gezondheidseffecten hebben.

Deze laag met zijn complexe en wisselende samenstelling voegt dus nog meer complexiteit toe aan de vraagstukken rond MNP. Mede daardoor is dit vakgebied nog een niche binnen het MNP onderzoek. Aandacht ervoor is echter belangrijk vanwege de invloed op de eigenschappen van MNP, zeker in processen waarin oppervlaktechemie een rol speelt.

Effecten op celniveau

De effecten van MNP en hun chemische 'vracht' zijn met name onderzocht in cel- en weefselkweken. Deze bevindingen geven aanwijzingen voor mogelijke gezondheidseffecten, al is de vertaalslag van cellen naar mensen niet altijd eenvoudig en eenduidig. Ook hangt het vaak af van de gebruikte deeltjes (soort plastic, grootte, vorm) of een bepaald effect zich voordoet, waarbij ook de vraag is of deze deeltjes de daadwerkelijke blootstelling adequaat nabootsen. MNP kunnen op celniveau bijvoorbeeld de volgende effecten veroorzaken:

- **Oxidatieve stress:** ontregelde cellen door reactieve zuurstofsoorten (ROS) en andere oxiderende stoffen. Dit kan onder meer leiden tot de afgifte van ontstekingsmediatoren of celdood.
- **Verstoorde stofwisseling:** door invloed op verschillende enzymen, op de opname van nutriënten en op de energiebalans en op de manier waarop de cel omgaat met energiereserves.
- **Invloed op het (aflezen van) het genoom:** MNP kunnen het DNA in de celkern (genoom) beïnvloeden en ook hoe dit wordt afgelezen en 'vertaald' in eiwitten. Ook kan blootstelling gevolgen hebben voor latere generaties, door epigenetische modificaties van geslachtscellen.
- **Verstoorde signalen:** de moleculaire signalen waarmee cellen onderling communiceren, kunnen worden beïnvloed. Dit leidt bijvoorbeeld tot immunologische effecten. Indirect kunnen MNP de afweer beïnvloeden doordat zij de samenstelling en diversiteit van het microbioom in de darm veranderen.
- **Celdood:** mede door de bovengenoemde verstoringen in de cel kan blootstelling aan MNP ook leiden tot celdood.

Kanker?

Bovenstaande effecten op celniveau suggereren dat MNP en hun chemische ladingen een risicofactor zouden kunnen zijn voor het ontstaan en het beloop van kanker. Bij de verandering van een cel in een kankercel spelen oxidatieve stress, veranderingen in de stofwisseling, veranderingen in het DNA en verstoorde signalen allemaal een rol. Ook bij de verdere ontanding en verspreiding van kankercellen zouden MNP een rol kunnen spelen. Dit verdient nader onderzoek.

Effecten op verschillende weefsels

Op grond van bovenstaande toxiciteit op celniveau, is te verwachten dat MNP ook effecten hebben op het functioneren van weefsels en organen:

- **MNP in bloed- en afweercellen.** MNP hebben effect op witte bloedcellen (afweercellen) die lichaamsvreemd materiaal horen op te ruimen, maar de microplastics niet kunnen afbreken. Dit kan immunologische effecten tot gevolg hebben zoals ongewenste (lokale) onderdrukking van afweerreacties of juist ongewenste ontstekingsreacties of auto-immuunziekten. MNP hebben ook effect op de levensduur van (rode) bloedcellen en op de vaatwand. Bij de toegenomen afbraak van bloedcellen komen stoffen zoals histamine vrij die ontstekingsreacties kunnen veroorzaken.
- **Longen, darm en inwendige organen.** Het is op grond van fundamenteel onderzoek zeer aannemelijk dat MNP gezondheidsschade kunnen veroorzaken in de longen en in de darm. Deze organen staan rechtstreeks bloot aan MNP in de lucht en in voeding en water. Hoe groot de daadwerkelijke bijdrage is van MNP aan het ontstaan en/of de verergering van ziekten in deze organen is nog niet goed te zeggen. Daarvoor is meer onderzoek nodig. Dat geldt ook voor andere inwendige organen, waaronder de lever en de milt die in experimenten relatief veel MNP opnemen.
- **Hersenen (neurotoxiciteit).** MNP zijn aangetoond in de hersenen van mensen en proefdieren. Er zijn aanwijzingen dat zij schade kunnen veroorzaken, bijvoorbeeld door cytotoxiciteit, oxidatieve stress, neuroinflammatie, veranderingen in celgroei en ontwikkeling, effecten op het gedrag en verstoring van de bloed-hersenbarrière.
- **Voortplanting en hormoonhuishouding.** Bij mensen zijn MNP aangetoond in alle relevante weefsels en lichaamsvloeistoffen: de eikel, testikels, baarmoeder, placenta, sperma, etc. MNP hebben mogelijk ongewenste effecten op de vruchtbaarheid en de embryonale ontwikkeling. Zij kunnen vooral via de chemische stoffen die zij bij zich dragen de hormonale signalen beïnvloeden die een rol spelen bij de voortplanting. In dierproeven bleken zij schadelijk voor de embryonale ontwikkeling, onder meer door oxidatieve stress en een verhoogde ontstekingsneiging. Er zijn aanwijzingen dat MNP en de stoffen die eruit lekken, de synthese, het transport en de secretie van hormonen beïnvloeden. Dit heeft niet alleen gevolgen voor de vruchtbaarheid maar ook voor de gezondheid. Zo kunnen MNP van invloed zijn op de spiegels van schildklierhormoon, groeihormoon en verscheidene steroïdenhormonen waaronder geslachtshormonen.

2.2.5 Gezondheidsrisico door MNP

Met de nu beschikbare wetenschappelijke kennis kunnen de gezondheidsrisico's van MNP alleen in heel globale termen worden ingeschat, in samenhang met andere in het milieu voorkomende deeltjes zoals roet, natuurlijke vezels en minerale deeltjes. Zo bestaat een deel van wat we gewoonlijk aanduiden als 'fijnstof' uit MNP. Het beoordelen van de risico's van (specifieke) MNP is een complexe uitdaging, waarbij het ontbreken van adequate data en de kwaliteit van de beschikbare data in de vakliteratuur grote obstakels vormen. Het risico bestaat dat te gemakkelijk gegeneraliseerd wordt op grond van beperkte data, of data die onvoldoende wetenschappelijke basis hebben. Ook wordt niet altijd voldoende rekening gehouden met dosis-effectrelaties, waardoor het moeilijk wordt om drempelwaarden en andere toxicologische parameters te berekenen. Veel van deze uitkomsten ontbreken nog in de internationale vakliteratuur.

Een betrouwbaarder risicobeoordelingskader (risk assessment framework) kan worden gerealiseerd door gebruik te maken van toxicologisch relevante maten zoals massa, grootte en oppervlaktekenmerken, door strenge kwaliteitseisen te stellen aan het gehele meetproces inclusief bemonstering, door een betere statistische aanpak (het werken met kansdichtheid) en door het inschatten van de blootstelling aan de chemische en biologische 'vracht' van MNP. Een dergelijk kader is met de huidige kennis nog maar ten dele in te vullen. Het biedt echter een helder referentiekader om in de komende jaren bruikbare uitspraken te kunnen doen over de gezondheidsrisico's van MNP en andere deeltjes.



Risicobeoordelingskaders uit CUSP

De ontwikkeling van risicobeoordelingskaders is een van de kernactiviteiten van het Europese CUSP-researchcluster. Verscheidene kaders zijn ontwikkeld, gebaseerd op verschillende aspecten, zoals het soort kunststoffen, fysisch-chemische eigenschappen, gevaren, toepassings- en gebruiksscenario's en blootstellingsroutes. De kaders PlasticsFatE en POLYRISK beoordelen de risico's van MNP aan de hand van gegevens over de eigenschappen van polymeren en toxicologische evaluaties. Deze kaders leggen de nadruk op het beperken van de blootstelling tijdens de materiaalontwikkeling en in beroepsomgevingen. IMPTOX en AURORA bekijken MNP door de bril van immuunreacties en de gezondheid in de vroege levensjaren (astma, allergieën en de ontwikkeling). Ten slotte identificeert het door het PLASTICHEAL-project ontwikkelde beoordelingskader 'PlasticRiskCat' gevaren zoals het ontstaan van kanker en gevaren voor de voortplanting.

3

De oogst van het ZonMw-programma

Hoe maak je MNP die geschikt zijn voor laboratoriumstudies naar gezondheidseffecten? Hoe ontstaan MNP uit verschillende plastics en hoe verwerken ze in het milieu? Hoe kunnen zij gemeten worden in bloed en weefsels? Wat gebeurt er in de cellen van long, darm, afweersysteem, hersenen en placenta als er MNP in komen? Wat hebben we nodig om de risico's te bepalen? De eerste waardevolle antwoorden op deze en andere vragen werden gegeven in het ZonMw-programma Microplastics & Health. Een blik op de doorbraakprojecten en MOMENTUM-projecten.

ZonMw subsidieert sinds 2018 onderzoek naar de gezondheidseffecten van MNP ([zie ook 1.1](#)). Dit heeft geleid tot de eerste 15 zogeheten doorbraakprojecten die bedoeld waren om een eerste krachtige stap te zetten op nog nauwelijks verkende onderzoeksvragen, en daar snel een eerste inzicht mee op te doen. Deze projecten hadden een grote impact en zijn vervolgens samengevoegd en voortgezet in MOMENTUM 1.0. Hieruit ontstonden MOMENTUM 2.0 en 7 doorbraakprojecten, die erop gericht zijn om binnen Nederland voldoende focus en onderlinge afstemming aan te brengen in het MNP-onderzoek. Enkele van de meest saillante uitkomsten van al die inspanningen komen hier aan de orde, voor zover zij bij het schrijven van deze Kennisagenda al beschikbaar waren.

Krachtenbundeling

MOMENTUM 1.0 had een looptijd van 3,5 jaar (van 1 juni 2021 tot 1 december 2024). Terwijl de uitkomsten bij het schrijven van deze Kennisagenda nog worden gepubliceerd, is al duidelijk dat er sprake is van een rijke oogst. Het allerbelangrijkste is dat onderzoekers van 12 kennisinstellingen met verschillende achtergronden hun krachten gebundeld hebben en hun werk onderling afstemmen. Er is veel bereikt in korte tijd en voor een belangrijk deel ook nog eens tijdens de COVID-19 pandemie. In het consortium participeerden ook 15 bedrijven, zodat de vertaalslag naar de praktijk snel gemaakt kan worden. Dit onderzoek is versterkt met MOMENTUM 2.0 en 7 doorbraakprojecten. Deze 8 projecten werken samen binnen het MOMENTUM-NL cluster. Dankzij deze unieke onderzoeksinfrastructuur behoort Nederland tot de voorhoede op het gebied van wetenschappelijk onderzoek naar MNP en hun gezondheidsrisico's. Het is van belang dat deze infrastructuur verder wordt uitgebreid. MOMENTUM 3.0 geeft de bestaande onderzoeksprojecten de kans om verder te werken aan kennis die van belang is voor de risicobeoordeling. Er is echter ook nog ander onderzoek nodig, bijvoorbeeld op het gebied van epidemiologie, gedrag en de vertaalslag van onderzoek naar beleid en aanbevelingen voor consumenten.

‘MOMENTUM-deeltjes’ belangrijk ingrediënt voor onderzoek

Een van de belangrijke resultaten van MOMENTUM is de productie van gekarakteriseerde modeldeeltjes. Om te onderzoeken hoe MNP zich door het lichaam kunnen bewegen en wat de effecten zijn van de deeltjes op cellen en weefsels, moeten onderzoekers beschikken over verschillende soorten MNP. Wereldwijd is tot nu toe vrijwel al het onderzoek gedaan met commercieel verkrijgbare polystyreendeeltjes. Het produceren van goed gedefinieerde en gestandaardiseerde referentie-MNP ('modeldeeltjes') van andere polymeren blijkt een grote uitdaging te zijn. Het MOMENTUM-consortium is erin geslaagd om deeltjes van verschillende groottes te produceren van verschillende polymeren zoals PVC, polypropyleen (PP), polyamide (PA, een bekend polyamide is nylon) en polyetheentereftalaat (PET). Er zijn deeltjes gemaakt van zowel nieuw plastic als van verweerde plastics, om ook de effecten van milieu-relevante MNP te kunnen testen. Bovendien is er recentelijk een succesvolle methode ontwikkeld voor het maken van fluorescente PVC-deeltjes. Daarmee kan het transport van MNP over barrières zoals de long en darm worden bestudeerd. Eenduidige karakterisering van de eigenschappen van deze 'MOMENTUM-modeldeeltjes' ('sample passports') is publiek beschikbaar. Dankzij deze unieke deeltjes kunnen studies worden verricht naar de effecten van verschillende polymeren op cellen en weefsels, en naar de afbraak van polymeren door micro-organismen.

3.1 Bronnen en verspreiding van MNP

MNP ontstaan in het milieu door vertering van plastic. De onderzoekers konden dit proces in het laboratorium versneld nabootsen. Een hoge temperatuur en ultraviolet licht (UV) bleken belangrijke factoren te zijn bij de veroudering van plastics en het ontstaan van MNP. Onder invloed van met name UV verbrokkelden plastics verder en ontstonden er makkelijker kleine MNP bij mechanische belasting. Bacteriën lijken geen grote rol te spelen bij de vertering van PVC en polypropyleen. Zowel natuurlijk voorkomende bacteriën als bacteriekweken hadden na 9 maanden geen invloed op de vertering van grote stukken plastic.

ATHENA: blootstelling in kaart

Het ATHENA-doorbraakproject heeft in korte tijd veel kennis opgeleverd over de externe en interne blootstelling aan MNP. Er zijn AI-tools ontwikkeld en getest om data over MNP, blootstelling en effect te verzamelen uit grote aantallen publicaties in de vakliteratuur. Geen enkele internationale studie scoorde positief op alle kwaliteitscriteria¹⁰, dus de betrouwbaarheid van de data is wisselend. Door standaardisering van alle data voor microplastics van 1-5000 µm kon voorlopig worden geconcludeerd dat inademen ca 78% en drinken ca 19% van de blootstelling veroorzaakt. De blootstelling varieert enorm tussen mensen, afhankelijk van hun leefwijze en dieet. Er werd een aanpak ontwikkeld om blootstellingsscenario's een standaard onderdeel van de risicobeoordeling te laten zijn.

Dankzij de brede aanpak van ATHENA is nu veel meer zicht op de belangrijkste routes van blootstelling. Er zijn heldere criteria ontwikkeld om de kwaliteit van metingen in weefsels kwantitatief te evalueren. Deze evaluatie is toegepast op data uit de vakliteratuur.

3.2 Externe blootstelling

In MOMENTUM zijn uitgebreide literatuurstudies verricht naar de aanwezigheid van MNP in het Nederlandse milieu. Aan de hand van de uitkomsten worden bestaande computermodellen voor de externe blootstelling verder ontwikkeld. Enkele saillante punten uit deze literatuuranalyse (die later is aangevuld met onderzoek in het ATHENA-project, zie kadertekst):

- MNP vormen 0,1-0,24% van de totale massa van deeltjes in Nederlands oppervlaktewater. In binnenlucht vormen MNP naar schatting 15% van de aantallen deeltjes in fijnstof.
- De belangrijkste bronnen van externe blootstelling zijn voedsel en ingeademde lucht.
- In het Nederlandse milieu zijn MNP van tientallen verschillende plastics geïdentificeerd in water, lucht en in de bodem. Veel van deze plastics kunnen worden geassocieerd met zeer zorgwekkende stoffen¹¹.

¹⁰ Quality Assessment/Quality Control, kortweg QA/QC.

¹¹ <https://iplo.nl/thema/zeer-zorgwekkende-stoffen-zzs/>

Food for Thought: sla neemt MNP op

Mensen krijgen MNP mogelijk binnen via planten, die MNP opnemen uit de bodem. Het doorbraakproject Food for Thought toonde aan dat polystyreen MNP worden opgenomen door sla en terechtkomen in de eetbare delen. Het onderzoek richt zich nu op andere plastics en naast sla ook op wortels en gerst.

3.3 Interne blootstelling

Om de verspreiding en ophoping van MNP in diverse organen en weefsels te kunnen meten, zijn methoden ontwikkeld waarmee MNP in deze biologische matrices kunnen worden aangetoond. De MOMENTUM-onderzoekers konden hier voortbouwen op de successen van eerdere ZonMw-doorbraakprojecten, die MNP aantoonde in bloed, placenta en vruchtwater. Deze methoden worden verder geperfectioneerd en toegepast in andere matrices zoals galvloeistof, vloeistof uit longspoelingen, en weefselmonsters van de lever en milt.

Metingen in bloed zijn van groot belang omdat bloed het belangrijkste transportmedium in het lichaam is. Met de geoptimaliseerde analysemethode zijn uiteenlopende concentraties MNP gedetecteerd in bloedmonsters. De interne blootstelling verschilt dus sterk van individu tot individu. Dierstudies zijn uitgevoerd om beter inzicht te krijgen in de belangrijkste blootstellingsroutes die leiden tot opname van deeltjes. Ratten die polyamide inhaleerden gedurende 4 weken, hadden de MNP na 90 dagen nog in hun longen, maar een deel was via de lymfeklieren afgevoerd. Bij muizen waren na een injectie van polystyreendeeltjes in een ader de deeltjes na 16 uur uit de bloedstroom verdwenen. Bij metingen 14 dagen en 30 dagen na toediening werd een verhoogde concentratie van de deeltjes in de lever en de milt aangetroffen.

Transport van MNP door diverse barrières in het lichaam

De aanwezigheid van MNP in het bloed betekent dat zij het lichaam kunnen binnendringen door barrières heen (zoals het spijsverteringskanaal, luchtwegen of longblaasjes). Dit passeren van barrières werd in het laboratorium onderzocht in cel- en weefselkweek modellen. Ook werd gekeken hoe de laag eiwitten en andere biologische moleculen op een deeltje (corona) ontstaat. Deze is waarschijnlijk van invloed op de manier waarop de deeltjes zich door het lichaam en door diverse membranen bewegen, en op de toxiciteit. Er werden celkweek (*in vitro*) -systemen ontwikkeld voor de long en de darm, de bloed-hersenbarrière en de placenta. In deze systemen is ook de dosimetrie in kaart gebracht, dat wil zeggen hoe MNP zich gedragen of blijven kleven in de laboratoriumopstelling, wat een bron van meetfouten kan zijn. Met behulp van deze systemen zijn sterke aanwijzingen gevonden dat (commercieel verkrijgbare) polystyreen MNP al deze barrières kunnen passeren. Voor dit onderzoek zijn fluorescent gelabelde MNP nodig. Inmiddels is MOMENTUM erin geslaagd om fluorescente PVC-MNP te maken. Dit biedt mogelijkheden voor uitgebreider onderzoek naar de passage door diverse barrières in het lichaam.

Computersmodellen geven inzicht in interne blootstelling en vertaalslag naar de mens

Gezien de grote diversiteit in MNP is het ondoenlijk om de relatie tussen externe en interne blootstelling aan alle MNP empirisch te onderzoeken. Daarom zijn er farmacokinetische (PBK) computersmodellen opgezet die de opname, verdeling en uitscheiding van MNP kunnen schatten. In de farmacologie en toxicologie bestaat al veel ervaring met PBK-modellen, voor deeltjes zoals MNP staat dit onderzoek nog in de kinderschoenen. De huidige PBK-modellen tonen de verspreiding van MNP in het lichaam. Ook laten ze zien welke kennis nog ontbreekt, bijvoorbeeld over de transportsnelheid door diverse barrières, de opname in weefsels en de uitscheiding van MNP.

PBK-modellen zijn essentieel bij de vertaalslag van bevindingen uit *in vitro*-studies naar de mens. Voor zo'n kwantitatieve *in vitro* naar *in vivo*-extrapolatie (QIVIVE) is het overigens ook nodig om goed te weten wat de concentratie van MNP in cellen is. Dat kan voorspeld worden met zogeheten *in vitro*-dosimetrie modellen.

3.4 Gevaar (negatieve gezondheidseffecten)

Er is veel vooruitgang geboekt door metingen met MOMENTUM-deeltjes in *in vitro*-modelsystemen en in proefdiermodellen. Deze tonen een wisselend beeld, afhankelijk van de soort plastic, waarbij met name in de long aanwijzingen voor effecten worden gevonden.

Polyamide deeltjes (1-5 en 5-10 µm) waren in realistische concentraties giftig voor *in vitro*-longmodelsystemen door de chemische additieven in PA en mogelijk ook door de deeltjes zelf. PVC-deeltjes (<1 µm) en polystyreen (10 µm) beïnvloedden de overleving van immuuncellen. Polypropyleendeeltjes vertoonden minimale effecten in alle geteste modellen, inclusief hersen- en placentacellen. Bij hoge concentraties van de geteste MNP (>10 µg/ml), is er een ongunstig effect op de integriteit van membranen en veroorzaken MNP na verloop van tijd celdood.

De eerste studies in darmepitheelmodellen uit menselijke stamcellen laten zien dat MNP de neiging hebben om eiwitten te binden die een rol spelen bij immuun- en ontstekingsreacties. Ook verstoren MNP van sommige polymeren de darmbarrière en hebben zij andere toxische effecten.

De effecten van MNP zijn mogelijk ernstiger dan gevonden in laboratoriumonderzoek, doordat *in vitro*-studies vooral geschikt zijn voor het onderzoek naar kortdurende blootstelling aan MNP. Om het gevaar van chronische blootstelling aan MNP in mensen te meten, worden dierstudies of epidemiologische studies uitgevoerd. MOMENTUM heeft een van de eerste studies wereldwijd in mensen gedaan. In deze studie zijn MNP metingen in bloedmonsters van 100 jonge mensen verricht, in het PIAMA (Prevention and Incidence of Asthma and Mite Allergy) cohort. De onderzoekers vonden een associatie tussen interne blootstelling aan MNP en biomarkers in het bloed die wijzen op activatie van het afweersysteem. In het AURORA-project is gekeken naar monsters van placenta's en navelstrengbloed van 800 pasgeborenen. Hoge MNP-blootstellingen hingen samen met meetwaarden die kunnen wijzen op veranderde immuunfuncties.

Ziekteverwekkers en MNP

Het is aannemelijk dat bacteriën zich via MNP kunnen verspreiden en het menselijk lichaam binnendringen. Ook is de kans groot dat bacteriën in de biofilm genen voor antimicrobiële resistentie uitwisselen. Ziekteverwekkers zoals *Pseudomonas aeruginosa* blijken gedurende langere tijd aan verschillende soorten MNP gehecht te kunnen zijn en daar ook overleven. In hoeverre MNP een rol spelen bij het verspreiden van besmettingen, wordt verder onderzocht in het MOMENTUM 2.0-project.

3.5 Gezondheidsrisico door MNP

In de MOMENTUM 'Road map to risk assessment' (de basis voor de opbouw van dit hoofdstuk en het vorige hoofdstuk) concluderen de onderzoekers dat er grote stappen zijn gezet in de afgelopen 5 jaar, maar dat het nog niet mogelijk is om een sluitende risicobeoordeling te formuleren.

- 1. Herkomst en verspreiding van MNP:** er is veel kennis verzameld over het ontstaan van MNP, maar men weet nog te weinig over de degradatie- en andere processen in verschillende compartimenten van het milieu. Ook is er veel meer standaardisering nodig op het gebied van bemonstering en analyse ([zie ook 2.1.2](#)).
- 2. Externe blootstelling:** MOMENTUM en ATHENA hebben laten zien dat er al heel wat bekend is in de vakliteratuur over de belangrijkste routes van blootstelling. Niet alle beschikbare blootstellingsdata zijn echter van voldoende kwaliteit om meegenomen te worden in de risicobeoordeling. Ook is er nog steeds weinig bekend over de externe blootstelling aan de kleinste deeltjes (nanoplastics).
- 3. Interne blootstelling:** er begint een beeld te ontstaan van de concentraties van MNP in verschillende weefsels, maar om meer duidelijkheid te verkrijgen zijn verbeteringen van de analysemethoden nodig. De detectie van nanodeeltjes blijft een enorme uitdaging. De manier waarop relevante MNP zich door het lichaam bewegen (kinetiek) is verder in kaart gebracht, maar de invloed van het type polymeer en geassocieerde chemicaliën op de kinetiek moet nader worden onderzocht. Ook zijn er betere computermodellen nodig ([zie kadertekst Computermodellen geven inzicht](#)) om de externe blootstelling te koppelen aan interne blootstelling en om gegevens van *in vitro*-modellen te extrapoleren naar de mens.

4. **Gevaar (gezondheidseffecten):** er is steeds meer bekend over de invloed van het type polymeer en van de deeltjesgrootte op de negatieve gezondheidseffecten van MNP. Het ontbreekt echter nog aan data over effecten van milieurelevante materialen. Er is nog maar weinig bekend over de gezondheidseffecten van chronische blootstelling aan verschillende relevante MNP. De eerste epidemiologische studies in de mens zijn gestart; zulke studies zijn essentieel voor het vaststellen van de mogelijke relatie tussen langdurige blootstelling aan MNP en ziekten zoals kanker, neurodegeneratieve aandoeningen en aangeboren afwijkingen.
5. **Risico:** ondanks de bovenstaande beperkingen op het gebied van standaardisering, methodologie en beschikbare data zijn er in MOMENTUM 2.0 belangrijke stappen gezet in de richting van de risicobeoordeling. Bij het schrijven van deze Kennisagenda waren helaas nog niet alle uitkomsten van MOMENTUM 2.0 samengevat en beschreven, dus mogelijk komen er binnenkort nog nieuwe inzichten beschikbaar. Er is gewerkt aan het ontwikkelen van een probabilistisch (op kansen gebaseerd) risicobeoordelingskader voor MNP. Ook is een diepgaande studie uitgevoerd naar het risico voor de longen door blootstelling aan polyamide via de ademhaling. Deze stappen geven de eerste aanwijzingen dat er gezondheidsrisico's te verwachten zijn. Verder onderzoek zal plaatsvinden in MOMENTUM 3.0 om tot een geïntegreerd kader voor de beoordeling van risico's voor de menselijke gezondheid van MNP te komen, met inbegrip van fysische aspecten (grootte, dichtheid, vorm, polymeeridentiteit en verweringsgraad), aan plastic gerelateerde chemische stoffen en microbiële verontreiniging.

3.6 Op weg naar oplossingen

Het lijkt hoe dan ook een goed idee om de blootstelling van mensen aan MNP te minimaliseren, ook al zijn er kennishiaten over de herkomst, externe blootstelling, interne blootstelling en de effecten van MNP op verschillende cellen en weefsels. Daarom werken MOMENTUM-partners aan 3 routes die moeten leiden tot een reductie van de eventuele gezondheidsgevolgen van MNP. In hoofdstuk 5 gaan we verder in op mogelijke (andere) oplossingsroutes. De 3 MOMENTUM-oplossingsroutes¹² zijn:

1. Kennisuitwisseling over MNP in milieu en humane gezondheidsaspecten en betere afstemming tussen de betreffende instanties, om te komen tot een strategie voor het afleiden van milieukwaliteitsnormen voor MNP die rekening houdt met de gezondheid van mensen.
2. Verbeteren van materialen en producteigenschappen, onder meer door de ontwikkeling en toepassing van een 'Microplastics Index (MPI)'. Deze geeft aan in welke mate MNP worden gevormd bij mechanische belasting van bepaalde polymeren, en geeft inzicht in welke polymeren daardoor de meeste MNP in het milieu belanden.
3. Werken aan veilige afbreekbare kunststoffen die de huidige plastics waar mogelijk kunnen vervangen, alsmede besliskundige modellen voor de toepassing ervan.

Veel misvattingen over MNP bij Nederlandse bevolking

Er bestaan nog veel misverstanden over MNP. Dat bleek uit een representatief onderzoek dat in het kader van het Microplastics and Citizens-project werd uitgevoerd onder de Nederlandse bevolking. Niet iedereen (86%) van de respondenten kende de term microplastics. Van de respondenten die wisten wat microplastics zijn, begreep een derde dat microplastics ook nanoschaalafmetingen kunnen bereiken. De meeste deelnemers noemden inslikken en drinken als primaire blootstellingsroutes, en onderschatten de risico's van inademing. Tweederde van de respondenten denkt dat MNP in de binnenlucht voornamelijk van buiten afkomstig zijn, terwijl in werkelijkheid bronnen binnenshuis (textiel en stof) veel belangrijker zijn. Slechts weinig mensen nemen adequate maatregelen om blootstelling aan MNP terug te dringen, zoals duurzaam wassen en drogen, regelmatig stofzuigen, ventileren of luchtreinigers gebruiken. De publieke steun voor beleidsmaatregelen is groot, bijvoorbeeld voor waarschuwingslabels en wasinstructies op kleding, voor verplichte filters en voor gedifferentieerde btw op synthetische stoffen.

¹² <https://momentummicroplastics.nl/momentum-solutions-roadmap/>

3.7 Conclusie

Dankzij het ZonMw-programma en de inspanningen van de Nederlandse kennisinstellingen is er in enkele jaren veel kennis verzameld. Er zijn betere metingen ontwikkeld en modeldeeltjes waarmee interne blootstelling en gezondheidseffecten gemeten kunnen worden. We weten nu dat MNP zich door het gehele lichaam kunnen bewegen en soms schadelijk kunnen zijn, en er zijn methodes ontwikkeld om risico's te beoordelen. Tegen de achtergrond van een steeds toenemende hoeveelheid MNP in onze leefomgeving is er reden tot zorg. Preventie van het ontstaan van, en blootstelling aan MNP is hoe dan ook belangrijk. Het is echter nog te vroeg voor maatregelen rond bepaalde polymeren. Daarvoor moet eerst meer kennis worden verzameld over hun gezondheidseffecten en de externe en interne blootstelling. De sterke kennisinfrastructuur die nu in Nederland is opgebouwd, kan hieraan een belangrijke bijdrage leveren.

4

Kennisvragen vanuit beleid en praktijk

Mede vanwege de groeiende belangstelling voor MNP en hun mogelijke gevolgen voor de gezondheid leven er veel verschillende kennisvragen bij beleidsmakers, maatschappelijke organisaties en bedrijven. In essentie gaat het om de vraag hoe we zo goed en zo snel mogelijk een inschatting kunnen maken van de risico's van verschillende typen MNP voor de volksgezondheid en de gezondheid van bijzondere groepen – en met welke maatregelen we die risico's kunnen beperken.

Hoewel er mede dankzij het ZonMw-programma Microplastics & Health al veel kennis over micro- en nanoplastics (MNP) beschikbaar is, zijn er ook nog veel kennisvragen die nog niet (volledig) beantwoord zijn. Dat komt onder meer door de grote diversiteit aan MNP, de onduidelijkheid over de exacte blootstelling en de uitdagingen bij de vertaalslag van modelsystemen naar de gezondheid van de mens. Een deel van de hier gepresenteerde kennisvragen komt dan ook overeen met de vragen die eerder in 2020 werden verzameld. Zoals vermeld in 1.2 is 'MNP' een verzamelnaam voor zeer uiteenlopende deeltjes met verschillende eigenschappen en effecten. Een kennisvraag kan beantwoord zijn voor steriele polystyreen deeltjes van 10 µm, maar nog openstaan voor veel andere MNP waaraan mensen zijn blootgesteld.

4.1 Bronnen en verspreiding van MNP

Vragen over het ontstaan van MNP en de route die ze afleggen door het milieu zijn relevant voor een uiteinde-lijke risicobeoordeling en voor het ontwikkelen van beleid. Deze categorie heeft raakvlakken met onderzoek door de industrie, diverse kennisinstellingen en andere organisaties met een focus op materialen of op het milieu.

Kennisvragen:

1. Welke bronnen ((zwerf)afval, producten, materialen en activiteiten) leiden tot relevante menselijke blootstelling aan MNP uit het buitenmilieu (buitenlucht, drinkwater, voeding, etc) en in het huishouden (voedselverpakking, apparaten, kleding, vloerbedekking, etc.)?
2. Welke verspreidingsroutes (van bron naar mens) van de diverse MNP (samenstelling, grootte, vorm, chemie, etc.) zijn het belangrijkste voor de blootstelling van mensen en hoe verhouden de verschillende compartimenten van het buitenmilieu (lucht, water, bodem) en het binnenmilieu (thuis, werk) zich tot elkaar?
3. Welke veranderingen ondergaan MNP in de loop van de tijd in verschillende milieus?
4. Welke factoren (UV, temperatuur, zuurgraad, etc.) leiden tot MNP-vorming en wat betekent dit voor de blootstelling van mensen aan MNP?
5. Hoe groot is de bioaccumulatie van MNP in de voedselketen en wat betekent dit voor blootstelling van mensen?
6. Hoe verhoudt de aanwezigheid van MNP in het buiten- en binnenmilieu zich tot andere micro- en nanodeeltjes zoals bijvoorbeeld fijnstof in lucht?
7. Wat is het aandeel van de preventie- en zorgsector aan het ontstaan van MNP die relevant zijn voor de mens en hoe gaat dat veranderen als de zorg meer verplaatst wordt naar de leefomgeving?

4.2 Methodologie en standaardisatie

Zoals ook beschreven in [hoofdstuk 2.1](#), zijn er nog veel openstaande vragen over de optimale methode om MNP van verschillende groottes en samenstellingen te meten. Dat geldt zowel voor het wetenschappelijk onderzoek naar MNP en hun (gezondheids)effecten als voor de monitoring van MNP in bijvoorbeeld drinkwater, voeding of het binnenmilieu. Standaardisatie en onderlinge afspraken over procedures moeten ertoe leiden dat de uitkomsten van verschillende metingen onderling vergelijkbaar zijn en blijven, en dat normen vastgesteld en gehandhaafd kunnen worden.

Kennisvragen:

1. Welke meetmethoden zijn het best geschikt voor het bepalen van de verschillende aspecten van de blootstelling aan MNP ([zie kadertekst Wat is blootstelling](#)).
2. Welke aanpak is het best geschikt voor het bepalen van chemische contaminatie en het uitlekken van chemische stoffen en voor microbiële contaminatie van MNP?
3. Welke aanpak is het best geschikt om het vrijkomen van MNP uit materialen en producten te kwantificeren, met name ook huishoudelijke producten en voedselverpakkingen?
4. Welke meetmethoden en benaderingen zijn het meest geschikt voor welke matrix (water, lucht, bodem, biologische matrices zoals voeding)?
5. Welke meetmethoden en benaderingen zijn het meest geschikt voor monitoring van specifieke matrices/producten (bijvoorbeeld drinkwater, voedingsproducten) en zijn er indicatoren ('proxies') te vinden die het mogelijk maken om met een relatief eenvoudige meting een inschatting te maken van de totale MNP in een sample?
6. Hoe verhouden bestaande en nieuw te ontwikkelen methoden voor het meten van MNP zich tot de opkomende 'exposoom'-benaderingen en de metingen die daarbij gebruikelijk zijn?
7. Welke methoden en modellen kunnen worden gebruikt om gezondheidseffecten te voorspellen aan de hand van *in vitro*-data en welke metingen/parameters leveren de beste informatie om *in vitro*-effecten te 'vertalen' naar (*in vivo*) gezondheidseffecten?
8. Wat zijn de kenmerken van een betrouwbaar model van risicobeoordeling en welke onderliggende kennis is nodig om tot zo'n risicobeoordeling te komen?
9. Hoe komen we tot internationale afspraken over de standaardisatie en harmonisatie van meetmethoden in het gehele traject van bemonstering, isolatie, extractie en analyse, referentiematerialen, en kwaliteitsborging?
10. Hoe komen we tot goed onderbouwde definities en internationale afspraken over de terminologie en de manier om uitkomsten te beschrijven (massa, aantal deeltjes, vorm en samenstelling, contaminatie, etc.)?

4.3 Externe en interne blootstelling

Kennis over de blootstelling is essentieel voor een beoordeling van het risico. Bij de externe blootstelling gaat het over de vraag hoeveel MNP aanwezig zijn in materialen (lucht, water, voeding, etc) die ons lichaam bereiken via de bekende blootstellingsroutes (maag-darmkanaal, longen en slijmvliezen). De interne blootstelling betreft de MNP die daadwerkelijk een bepaald orgaan of weefsel bereiken.

Kennisvragen:

1. Hoeveel MNP (en met welke kenmerken) bevinden zich in het milieu, in de buitenlucht, het binnenmilieu, drinkwater en voeding? In welke mate komen MNP (met specifieke kenmerken) via deze wegen het lichaam binnen?
2. Hoe groot is de blootstelling van mensen aan (toxische) chemische stoffen en ziekteverwekkers via MNP?
3. Bij welke groepen mensen is de blootstelling aan MNP het grootst, vanwege hun beroep, hobby, activiteiten of leeftijd?
4. Wat is de opname van MNP en de blootstelling (in aantallen/massa MNP) van verschillende organen en weefsels?
5. Hoe, in welk tempo en langs welke mechanismen verplaatsen MNP zich door het lichaam en door de diverse barrières in het lichaam en welke eigenschappen van de MNP en hun corona spelen daarbij een rol?
6. Hoe groot is de accumulatie van MNP in het menselijk lichaam en in welke cellen, weefsels en organen worden de meeste MNP geaccumuleerd?
7. Langs welke wegen en via welke mechanismen worden MNP uit het lichaam geëlimineerd en wat is hierbij de rol van de eigenschappen van MNP en hun corona?

4.4 Gezondheidseffecten

Het gevaar (hazard) is natuurlijk essentieel voor een risicobeoordeling. Door laboratoriumonderzoek (in cellen, op stamcellen gebaseerde modelsystemen, proefdieren) kan gekeken worden wat de gevolgen zijn van blootstelling voor het functioneren van cellen en weefsels, hetgeen aanwijzingen geeft voor de impact op de gezondheid van mensen. Het denken in adverse outcome pathways (AOPs), die op grond van biologische kennis een causale keten beschrijven tussen blootstelling en gezondheidseffecten, kan hierbij van grote waarde zijn. Epidemiologisch onderzoek vormt een andere mogelijke bron van kennis over negatieve gezondheidseffecten.

Kennisvragen:

1. Hoe groot is de deeltjestoxiciteit van verschillende soorten MNP (die representatief zijn voor daadwerkelijke blootstelling) en welke toxicologische werkingsmechanismen spelen een rol bij deze (verschillen in) deeltjestoxiciteit?
2. Wat is de toxiciteit van de belangrijkste chemische stoffen die via MNP het lichaam binnendringen en wat is de invloed van MNP op de toxicokinetiek van deze (complexe mengsels van) stoffen?
3. In welke mate dragen MNP bij aan de verspreiding van virussen, schimmels, bacteriën en antibiotica resistentiegenen?
4. Wat zijn de gevolgen van blootstelling aan realistische concentraties van milieurelevante mengsels van MNP?
5. Wat zijn de gevolgen van langdurige (multi-generatie) blootstelling aan MNP en in hoeverre zijn cohort-studies te gebruiken om deze vraag te beantwoorden?
6. Hoe zijn de veranderingen die de deeltjes ondergaan onderweg van bron naar mens (bijvoorbeeld de corona) van invloed op eventuele gezondheidseffecten?
7. Hoe verhouden de gezondheidseffecten van MNP zich tot die van andere bekende stoffen, zoals diverse chemische stoffen en andere deeltjes zoals fijnstof, en (hoe) beïnvloeden zij elkaar?
8. Zijn er aanwijzingen dat mensen met een (vermoedelijk) hoge blootstelling aan MNP meer (specifieke) gezondheidsklachten of aandoeningen hebben?
9. Bij welke (chronische) ziekten of ziekteverschijnselen is het aannemelijk dat MNP een risicofactor zijn?
10. Hoe ontwikkelen we kwantitatieve modellen voor de vertaalslag van *in vitro*-resultaten naar de mens?

4.5 Risicobeoordeling

In de risicobeoordeling komen de genoemde aspecten bij elkaar. Het risico volgt uit blootstelling en ongewenste gezondheidseffecten. Aan de hand van een risicobeoordeling kan in combinatie met kennis over bronnen en verspreiding van (specifieke) MNP worden vastgesteld welke maatregelen de grootste bijdrage leveren aan een reductie van de risico's. Betrouwbare en gestandaardiseerde bemonstering en metingen zijn daarbij uiteraard onmisbaar. De antwoorden op de bovenstaande kennisvragen zijn dus relevant voor een risicobeoordeling.

Daarnaast gaat het hier om de volgende kennisvragen:

1. Welke MNP (oorsprong, samenstelling, vorm, grootte) en welke blootstellingsroutes zijn verantwoordelijk voor de grootste risico's (in termen van blootstelling en specifieke gezondheidseffecten), en bij welke MNP is het risico het kleinst?
2. Hoe komen we tot een risicobeoordeling gegeven de grote leemten in de kennis over de daadwerkelijke hoeveelheden MNP in het menselijk lichaam en de gezondheidseffecten?
3. Hoe verhouden de risico's van MNP zich tot die van andere contaminanten, zoals diverse chemische stoffen (bijv. pesticiden en PFAS) en andere deeltjes zoals fijnstof?
4. Wat zijn veilige niveaus van verschillende soorten MNP in de mens (biomonitoring), in producten en in de compartimenten van het buitenmilieu en in het binnenmilieu, die als basis kunnen dienen voor normstelling en monitoring?

4.6 Handelingsperspectief (beleid, innovatie en gedrag)

Nu we weten dat MNP inderdaad doordringen in ons lichaam en in veel verschillende orgaansystemen teruggevonden worden, rijst de vraag wat we kunnen doen om blootstelling terug te dringen. Het gaat hier om vragen op het niveau van beleid (maatregelen) en van industriële innovaties en om vragen op het niveau van wat de individuele burger/consument kan doen of laten om zichzelf en anderen te beschermen tegen de gezondheidsrisico's van MNP.

Kennisvragen:

1. Welke maatregelen, zoals overheidsbeleid, technologische innovaties of gedragsveranderingen van burgers kunnen gericht bijdragen aan een vermindering van de blootstelling aan MNP en wat is de effectiviteit van bestaande en te verwachten innovaties en EU-regelingen?
2. Hoe kan kennis over gezondheidsrisico's van MNP beter worden meegenomen in methoden (zoals levenscyclus analyse, LCA) waarmee we de impact van MNP op een veilige gezonde leefomgeving kunnen bepalen?
3. Hoe kunnen burgers beter worden geïnformeerd over MNP en gemotiveerd om hun gedrag zo te veranderen dat zij bijdragen aan een afname van MNP-uitstoot en/of hun eigen blootstelling aan MNP verkleinen?
4. Welke algemene maatregelen (bijvoorbeeld rond fijnstof, waterkwaliteit, bodemkwaliteit, voedselkwaliteit, veilige productie of arbeidsomstandigheden) dragen al bij aan een afname of juist een toename van de blootstelling van mensen aan MNP?
5. Wat zijn de maatschappelijke en economische kosten die veroorzaakt worden door (de gezondheids-effecten van) MNP en welke economische en maatschappelijke baten zijn te verwachten van maatregelen, bedrijfsmatige activiteiten/innovaties en gedragsveranderingen van burgers die de blootstelling aan MNP kunnen reduceren of helpen om MNP te onderzoeken/meten/monitoren?
6. Wat zijn de risico's en de voordelen van het gebruik van alternatieve materialen (glas, keramiek, papier, hout) of het weglaten van plastics (bijvoorbeeld bij het verpakken van voedsel)?
7. Wat zijn de voordelen en risico's van innovatieve nieuwe kunststoffen zoals biologisch afbreekbare plastics en bio-based plastics?
8. Wat is de beste manier om de resultaten van wetenschappelijk onderzoek over MNP te communiceren?

5

Conclusies en aanbevelingen

In de 5 jaar die verstreken zijn sinds de vorige Kennisagenda Microplastics, is er veel gebeurd. Dankzij het ZonMw-programma is er nu een interdisciplinaire onderzoeksinfrastructuur die al een stevig fundament heeft gelegd voor een wetenschappelijke risicobeoordeling. In de maatschappij is er veel meer bewustwording op gang gekomen rond MNP en gezondheid. Dit hoofdstuk kijkt vooruit naar de komende 5 jaar, zowel voor de wetenschap als voor beleid, innovatie en gedrag.

De vraag wat de gezondheidsrisico's van MNP zijn, is niet eenvoudig te beantwoorden. Er is in feite sprake van een nieuw wetenschapsgebied dat in relatief korte tijd uit de grond gestampt is. De Nederlandse MNP-onderzoekers hebben op dit gebied een enorme prestatie geleverd, zowel in termen van wetenschappelijke output als in het opbouwen van interdisciplinaire netwerken en publiek-private samenwerking. Het MOMENTUM-consortium is niet meer weg te denken uit het internationale MNP-onderzoek en werkt binnen Nederland en daarbuiten nauw samen met andere toponderzoekers, bedrijven en organisaties. Nederland is een van de koplopers in dit jonge onderzoeksveld. Er is echter nog een lange weg te gaan voordat we de problematiek van MNP en gezondheid echt 'in de vingers' hebben.

Het (internationale) onderzoek is bepaald niet geruststellend over de gezondheidseffecten van MNP, zeker bij langdurige blootstelling aan toenemende hoeveelheden. Er zijn aanwijzingen dat MNP en de stoffen die zij bij zich dragen de kans op kanker kunnen verhogen, gevaren met zich meebrengen voor de voortplanting en het kind in de baarmoeder en dat zij ongewenste effecten hebben op ons afweersysteem, de ademhaling, het microbioom in de darm en hormonale evenwichten in ons lichaam. Toch is er ook nog maar weinig met zekerheid bekend over de mate waarin MNP een risicofactor zijn voor verschillende aandoeningen. Dat is een van de grote uitdagingen voor de komende jaren, naast meer inzicht in de relatie tussen het gedrag van mensen en MNP-blootstelling (verder toegelicht in 5.1).

Mede door de bevindingen van onderzoekers is het gevoel van urgentie gegroeid. Steeds meer mensen zijn zich ervan bewust dat MNP overal zijn, dat de blootstelling snel toeneemt door de reeds aanwezige plastics in het milieu en dat zij negatieve gezondheidseffecten kunnen hebben. Naast het bouwen aan een stevig fundament voor evidence-based beleid is het ook nodig om nu alvast te kijken wat individuele burgers, maatschappelijke organisaties, bedrijven en overheden kunnen doen om de blootstelling aan MNP te verminderen (verder toegelicht in 5.2).

MNP zijn niet de enige lichaamsvreemde deeltjes die mogelijk gezondheidseffecten hebben. In onze leefomgeving bevinden zich ook andere vormen van fijnstof en diverse chemische stoffen die onze gezondheid kunnen ondermijnen. Bekende voorbeelden zijn PFAS en bestrijdingsmiddelen. De mogelijke gevolgen van (chronische) blootstelling aan een combinatie van al deze bedreigingen (inclusief MNP) moeten dus worden meegenomen bij het nadenken over risico's en over maatregelen om deze terug te dringen.

5.1 Aanbevelingen voor verder onderzoek

De beweging die is ingezet met de ZonMw-doorbraakprojecten in 2018, heeft zoals uit het voorafgaande blijkt al heel wat opgeleverd. Er is echter ook nog veel onderzoek nodig. Reeds ingezette onderzoekslijnen verdienen voortzetting, om te komen tot betere onderbouwing van de risicobeoordeling. De subsidieoproep voor MOMENTUM 3.0 biedt daarvoor een belangrijke eerste stap. Daarnaast verdienen ook andere vragen rond MNP en gezondheid de aandacht van onderzoekers.

5.1.1 Terugblik op aanbevelingen uit 2020

Deze Kennisagenda is een actualisering van de verkenning uit 2020, waarin aanbevelingen zijn gedaan rond onderstaande thema's. In hoofdlijnen zijn deze nog steeds actueel, maar door het voortschrijdende inzicht in MNP zijn wel accentverschuivingen gewenst.

- 1. Gezamenlijk programmeren van onderzoek vanuit een gedeelde visie.** In de afgelopen 5 jaar is al veel bereikt op het gebied van gezamenlijke programmering. In MOMENTUM is een risicobeoordelingskader ontwikkeld, dat als leidraad gediend heeft in deze kennisagenda. De basis voor deze toxicologische benadering is in de afgelopen jaren gelegd, zodat deze nu daadwerkelijk toegepast kan worden. In aanvulling daarop is het nu tijd voor een bredere kijk, waarin ook epidemiologie en gedragswetenschappen een plaats hebben. De groeiende samenwerking met Nederlandse en internationale initiatieven buiten het ZonMw-programma Microplastics & Health is van belang voor de coördinatie van kennisontwikkeling en -uitwisseling.
- 2. Onderzoek naar negatieve gezondheidseffecten.** Dit punt blijft aandacht vragen, waarbij de nadruk verschuift naar meer realistische deeltjes (verschillende polymeren, natuurlijke verwerking) en het opzetten van epidemiologische studies om de lange termijneffecten bij mensen te bestuderen en te kijken naar specifieke doelgroepen en een relatie met concrete ziektebeelden. Een urgente vraag bijvoorbeeld is in hoeverre (sommige) MNP kankerverwekkend zijn en bij welke andere ernstige aandoeningen zoals dementie of aangeboren afwijkingen MNP een relevante rol spelen.
- 3. Verbetering van meetmethoden voor het meten van externe en interne blootstelling.** Het [ATHENA-project](#) laat zien dat er met name voor de wat grotere deeltjes al veel informatie verzameld is, binnen Nederland en internationaal. Toch is hier nog een investering nodig, met name voor de allerkleinste deeltjes en voor het snel meten van grotere aantallen monsters.
- 4. De vertaalslag van modelsystemen naar de mens.** Veelbelovend is daarvoor de Next Generation Risk Assessment aanpak ([zie kadertekst Nieuwe aanpak van risicobeoordeling](#)), mede gebaseerd op Adverse Outcome Pathways (AOP) en computermodellen voor de interne blootstelling. Een eerste aanzet hiervoor is inmiddels al gegeven, maar de modellen hebben nog meer data nodig om adequate voorspellingen te kunnen doen over gezondheidsrisico's.

5.1.2 Risicobeoordeling

Om gerichte interventies mogelijk te maken, is het essentieel dat er meer kennis beschikbaar komt over gezondheidsrisico's, vanuit verschillende beoordelingskaders. Welk risicobeoordelingskader relevant is, hangt onder meer af van de soorten kunststoffen, hun fysisch-chemische eigenschappen, gevaren (bv immunologisch, carcinogeen, endocrien, etc.), toepassings- en gebruiksscenario's en blootstellingsroutes. Zo'n kader biedt niet alleen onderbouwing voor interventies, maar laat ook zien welke kennis nog ontbreekt en wat een logische volgorde is in het beantwoorden van kennisvragen (zoals de vragen uit 4.1-4.5 in deze Kennisagenda). In zowel MOMENTUM als in het CUSP-consortium is een belangrijke aanzet gegeven tot de ontwikkeling van zulke risicobeoordelingskaders. In alle gevallen betekent de risicobeoordeling dat er gegevens nodig zijn over blootstelling (exposure) en negatieve gezondheidseffecten (hazard).

In het onderzoek verdienen vraagstellingen die leiden tot een concreet handelingsperspectief prioriteit. Urgente vragen zijn bijvoorbeeld welke polymeren het grootste gezondheidsrisico veroorzaken, welke technieken geschikt zijn voor monitoring van drinkwater, voedingsmiddelen en lucht en welke groepen mensen het grootste risico lopen vanwege hoge blootstelling of kwetsbaarheid. Soms is het echter nodig om eerst een stevige methodologische basis te leggen, zodat de uitkomsten van onderzoek ook werkelijk relevant zijn voor de praktijk.

5.1.3 Interventie-ontwikkeling

Om mensen daadwerkelijk te beschermen tegen gezondheidsschade door MNP, moet ook worden gewerkt aan het ontwikkelen van interventies. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan technologische innovaties (ontwikkeling van filters, alternatieve materialen, etc.), adviezen en gedragsverandering (keuzes van consumenten, verminderen van MNP stofdeeltjes binnenshuis, etc.), of beleidsmaatregelen (statiegeld, uitfasen van bepaalde typen plastics voor specifieke toepassingen, stimuleren van alternatieve materialen, etc.). Er is onderzoek nodig om zulke interventies te ontwikkelen, om te bepalen of zij effectief zijn, hoe ze te implementeren zijn, en om de effecten ervan te evalueren.

Ook is het van groot belang om de ongewenste effecten van maatregelen in kaart te brengen. Zorgvuldig onderzoek in de gehele 'levenscyclus' van een plastictoepassing en eventuele alternatieven is nodig om vast te stellen welke benadering optimaal is om blootstelling aan MNP terug te dringen. Andere factoren, zoals kosten, hygiëne, milieu-impact en het gebruik van grondstoffen moeten daarbij worden meegewogen.

Verscheidende analyses, zoals door de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO) en het UNEP Milieuprogramma van de Verenigde Naties geven aan dat interventies die op de gehele levenscyclus aangrijpen het meest effectief zijn om plasticvervuiling en gezondheidsverlies te reduceren¹³.

Dit alles vraagt om verdere verbreding van de wetenschappelijke infrastructuur door het betrekken van andere disciplines, variërend van materiaalkunde tot de gedragswetenschappen. De beste resultaten zijn te verwachten van een transdisciplinaire benadering die verschillende wetenschappelijke en technologische disciplines verbindt met ervaringskennis en praktijkkennis.

5.2 Beleid, innovatie en gedrag

Zoals in 1.2 al aan de orde kwam, is het gewenst dat beleid zo veel mogelijk gebaseerd is op kennis. Er is vaak zelfs kennis nodig voor beleid vanuit het zogeheten voorzorgsbeginsel (maatregelen nemen om toekomstige schade te voorkomen, ook als die schade nog niet in detail bekend is). Om een voorbeeld te noemen: hergebruik van plastic flessen kan een bijdrage leveren aan de reductie van MNP in het milieu, maar het is goed denkbaar dat die flessen bij herhaald gebruik meer MNP en meer chemische stoffen afgeven aan de dranken die erin verpakt zijn. De blootstelling van mensen zou dus verhoogd kunnen worden door deze vorm van recycling. Bij materiaalrecycling van polypropyleen en polyetheen worden de plastics vernalen, waarbij grote hoeveelheden MNP vrijkomen. Dit vraagt dus om maatregelen om te voorkomen dat werknemers worden blootgesteld aan deze MNP of dat de MNP in het milieu terechtkomen.

Een ander voorbeeld van een maatregel waarvan de effecten zorgvuldig onderzocht moeten worden is de introductie van biologisch afbreekbare plastics. De uitdaging is om de juiste balans te vinden tussen de gewenste eigenschappen van plastic (zoals het bevorderen van houdbaarheid en microbiologische voedselveiligheid bij voedselverpakkingen) en de ongewenste effecten op de gezondheid van de afbraakproducten van biologisch afbreekbare plastics (waaronder MNP). Ook moet telkens worden aangetoond hoe biologisch afbreekbare plastics onder verschillende omstandigheden worden afgebroken en welke deeltjes daarbij vrijkomen.

In deze paragraaf 5.2 gaat het over stappen die nu reeds gezet kunnen worden, met de huidige kennis en de binnenkort te verwachten resultaten. De vraag wie deze stappen precies moet zetten, valt enigszins buiten de scope van deze kennisagenda. Soms kunnen Nederlandse organisaties of overheden het voortouw nemen, soms is Europese afstemming en regelgeving zinvoller. Nu al dragen de Nederlandse overheid en instanties zoals het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) bij aan de totstandkoming en de handhaving van de Europese maatregelen op het gebied van MNP, zoals via de herziene versie van de EU Urban Wastewater Treatment Directive, de REACH-wetgeving en de Single Use Plastics Richtlijn.

¹³ The Lancet Countdown on health and plastics (2025), [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(25\)01447-3/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(25)01447-3/abstract)

Huidig beleid en regelgeving

Ofschoon de huidige wetenschappelijke kennis over de mogelijk nadelige gevolgen van microplastics voor de menselijke gezondheid nog onvolledig is, worden wel al (Europese) beleidsmaatregelen genomen vanuit het voorzorgsbeginsel. Zo wordt op Europees niveau¹⁴ steeds meer regelgeving geformuleerd die moet voorkomen dat plastics en microplastics in het milieu belanden: In 2019 werd de Single-Use Plastics directive van kracht, die het gebruik van plastic wegwerpproducten beperkt, een belangrijke bron van microplastics. Een ander voorbeeld is het in 2023 goedgekeurde restrictievoorstel in het kader van de Europese REACH regelgeving (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), die de bewuste toevoeging van microplastics voor diverse toepassingen gaat verbieden. Ook is in 2025 in Brussel een politiek akkoord bereikt over een verordening om het verlies van plastic pellets aan te pakken. Verder wordt ook gewerkt aan EU-beleid om bandenslijtage te verminderen en om microplastics te meten in afvalwater en slib. Tot slot blijft de EU-Kaderrichtlijn Mariene Strategie een belangrijk kader voor het verminderen van plastic en microplastics in zeeën en oceanen. In Nederland zijn in dat kader de Green Deal Scheepsafvalketen, de Green Deal Visserij, en de Green Deal Schone Stranden afgesloten. IenW zet in op reductie van (plastic) zwerfafval (zie Afval Circulair¹⁵), onder meer door statiegeld op plastic flesjes, monitoring en experimenten om de hoeveelheid zwerfafval in de rivieren terug te dringen, zoals pilots met vangarmen en gedragsinterventies. Vanuit Nederland wordt actief bijgedragen aan de ontwikkeling van internationale standaarden en meetmethoden voor micro- en nanoplastics, onder meer via ISO en CEN, die essentieel zijn voor monitoring en regelgeving. IenW neemt deel aan de onderhandelingen over een internationaal juridisch bindend verdrag tegen plasticvervuiling, inclusief microplastics (VN-Milieuprogramma, UNEP).

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. KIA Gezondheid en Zorg¹⁶, Uitvoeringsagenda Gezonde Leefomgeving¹⁷) en voedsel- en productveiligheid. In de Green Deal Duurzame Zorg¹⁸ neemt de gezondheidssector maatregelen tegen plasticvervuiling, bijvoorbeeld door alternatieven voor plastics te stimuleren. VWS draagt bij aan EFSA-adviezen (de Europese Voedselveiligheidsautoriteit) en WHO-initiatieven om normen en richtlijnen op te stellen voor microplastics in voeding, drinkwater en lucht.

5.2.1 No regret-maatregelen

De huidige stand van zaken betekent een spanningsveld voor beleidsmakers. Enerzijds is er een sterk gevoelde urgentie om de blootstelling van mensen aan MNP terug te dringen, anderzijds ontbreekt het nog aan de specifieke kennis om gerichte maatregelen te onderbouwen. Het verdient daarom aanbeveling om te inventariseren welke maatregelen genomen kunnen worden waarvan een gunstig effect verwacht kan worden en die zo min mogelijk verwachte nadelen hebben: no regret maatregelen. Een voorbeeld is het pakket maatregelen¹⁹ ter beperking het verliezen van het plastic granulaat in de plasticsketen. Een ander voorbeeld zijn de diverse maatregelen die gericht zijn op het terugdringen van wegwerpplastics. De verwachting is dat zij zullen zorgen voor een afname van plastic zwerfafval in het milieu.

Over de gevaren van MNP in het milieu en de effecten op verschillende diersoorten is al veel meer bekend dan over de gezondheidseffecten. Het is dus in elk geval al waardevol om maatregelen te bevorderen die de verwachte toename van MNP in het milieu zoveel mogelijk beperken. Indirect zullen deze maatregelen ook zorgen dat de blootstelling van mensen aan MNP afneemt. Zoals het KNAW-rapport Planetary Health²⁰ benadrukt, verdient de wisselwerking tussen milieu en gezondheid meer aandacht. Bij MNP kan deze 'planetaire gezondheid'-benadering maatregelen opleveren die hoe dan ook zinvol zijn voor het milieu en hoogstwaarschijnlijk ook de menselijke gezondheid dienen.

¹⁴ EU Action against microplastics. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/048dd075-6e47-11ee-9220-01aa75ed71a1>
¹⁵ <https://www.afvalcirculair.nl/zwerfafval-microplastics/>

¹⁶ <https://www.health-holland.com/nl/publications/useful-documents/kia>

¹⁷ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32793-549.html>

¹⁸ <https://www.greendealduurzamezorg.nl/>

¹⁹ <https://www.opcleansweep.eu/>

²⁰ <https://www.knaw.nl/publicaties/planetary-health-emerging-field-be-developed>

5.2.2 Netwerken en communicatie

Vooruitlopend op de kennis die beschikbaar komt voor specifieke interventies, is het van groot belang dat diverse organisaties nu al het gesprek aangaan over het terugdringen van de blootstelling aan MNP en van de gezondheidsrisico's ervan. In gesprek met adviesorganen, kennisinstellingen, (branche-organisaties van) bedrijven, topsectoren, milieuorganisaties, consumentenorganisaties, vakbonden en anderen kan duidelijk worden waar kansen liggen, wat mogelijke knelpunten zijn en welke oplossingsrichtingen al worden uitgeprobeerd. ZonMw is al bezig om hiertoe een aanzet te geven. Er groeit zo een netwerk voor 'tweerichtingsverkeer' tussen de werelden van beleid, maatschappelijke betrokkenheid, bedrijvigheid en kennisontwikkeling. Actuele kennisvragen kunnen daardoor sneller terechtkomen bij de wetenschappers die ze kunnen beantwoorden (uit de vakliteratuur of door nieuw onderzoek te doen). Nieuwe onderzoeksresultaten kunnen worden gecommuniceerd via kanalen die het vertrouwen van burgers en andere betrokkenen genieten. Ook eventuele interventies kunnen effectiever worden ontwikkeld en geïmplementeerd, zo veel mogelijk rekening houdend met de belangen van verschillende betrokkenen.

Communicatie over (gezondheids)risico's is overigens een aparte vaardigheid, die aandacht en mogelijk ook training vraagt voor onderzoekers en andere betrokkenen. Zeker in deze tijd, waarin mensen zijn blootgesteld aan veel informatie, waaronder alarmerende en soms ook alarmistische boodschappen, betekent risicocommunicatie meer dan het delen van onderzoeksresultaten. Telkens zal ook duidelijk moeten worden gemaakt wat de informatie concreet betekent voor burgers en specifieke doelgroepen. Vrijwel niemand is gewend om in statistische zin te denken in risico's en kansen, dus extra aandacht is hier nodig om gewenst gedrag te bevorderen en ongewenste gevolgen zoals afstomping te vermijden.

5.2.3 Innovaties

Voor bedrijven kan het interessant zijn om in te spelen op de groeiende maatschappelijke bezorgdheid rond MNP door innovaties te ontwikkelen waarmee de blootstelling van mensen teruggedrongen kan worden. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan filtersystemen voor water en lucht, meetsystemen voor monitoring en alternatieven voor kunststof in (onder meer) textiel, huishoudelijke apparaten en in de keuken. Ook de ontwikkeling van innovatieve kunststoffen zoals biobased plastics en biologisch afbreekbare plastics kan hierin passen, waarbij uiteraard voldoende aandacht besteed moet worden aan de veiligheid in de hele levenscyclus van zo'n kunststof.

Bedrijven die plastic produceren en verwerken, nemen in toenemende mate verantwoordelijkheid, onder meer door optimale transparantie te betrachten. Zo heeft de internationale chemische industrie, verenigd in de International Council of Chemical Associations (ICCA) in 2024 besloten om een database aan te leggen van additieven die verwerkt zijn in plastics. In deze ICCA-database komen gegevens uit zeer veel verschillende bronnen overzichtelijk bijeen.

Bij het stimuleren van innovaties in het bedrijfsleven is het goed om stil te staan bij de vraag hoe de overheid kan bijdragen aan de juiste prikkels. Bestaande plastics en hun toepassingen zijn immers zo goedkoop dat het niet vanzelf aantrekkelijk is om te investeren in innovatieve materialen.

5.2.4 Gedrag

Een toenemende bewustwording over de mogelijke gevaren van MNP betekent dat burgers ook willen weten wat ze zelf kunnen doen om hun blootstelling aan MNP te beperken en om te voorkomen dat MNP in het milieu terechtkomen. Milieu- en consumentenorganisaties en wellicht ook overheden zouden op grond van beschikbare kennis adviezen kunnen geven die mensen kunnen helpen bij het maken van de juiste keuzes. Welke kleding kunnen we het beste kopen en hoe kunnen we die het beste reinigen? Hoe gaan we om met plastics die in aanraking komen met ons voedsel? Hoe zorgen we dat we zo min mogelijk MNP binnenkrijgen via het water en de dranken die we drinken? Welke voedingsmiddelen en dranken bevatten de meeste MNP? Als blijkt dat 15% van de stofdeeltjes binnenshuis uit MNP bestaan, hoe kunnen we dan zorgen dat onze kinderen toch zo min mogelijk MNP inademen? Hoe kunnen we dat percentage terugdringen? ZonMw-projecten kunnen bijdragen aan de antwoorden op deze vragen. Daarnaast ziet ZonMw een rol als verbinder die de dialoog bevordert tussen wetenschappers, maatschappelijke organisaties en overheden. Zo wil ZonMw eraan bijdragen dat de best onderbouwde antwoorden via betrouwbare kanalen het publiek bereiken. Er zijn bijvoorbeeld al contacten met Milieu Centraal, het Voedingscentrum en de Consumentenbond.

Grootschalige gedragsverandering ontstaat echter niet vanzelf. Informatievoorziening is belangrijk, maar zeker niet genoeg. Naast bewustwording is het nodig dat mensen ook een helder handelingsperspectief krijgen aangeboden. Bovendien helpt het als de gewenste handelingsoptie zo min mogelijk (extra) moeite kost. Als de juiste keuze ook de makkelijkste keuze is, groeit de kans dat grote groepen mensen deze keuze maken.

5.3 Conclusie: complexe problematiek vraagt om samenwerking

Het besef dat MNP overal aanwezig zijn, schadelijk zijn voor ecosystemen en hoogstwaarschijnlijk ook voor onze gezondheid vraagt om een samenhangende benadering waarin verschillende spelers een rol hebben. Vanuit het gezondheidsperspectief stimuleert ZonMw onderzoek, onderlinge dialoog en de implementatie van onderzoeksresultaten. Andere partijen dragen bij aan kennis op het gebied van bijvoorbeeld de milieueffecten van MNP. Bij de stap van kennis naar interventies (beleid, innovaties en gedrag) zijn nog veel meer actoren betrokken, die elk een eigen invalshoek hebben, met eigen verantwoordelijkheden en belangen. Alleen als we MNP plaatsen in een bredere context van (potentiële) bedreigingen van onze gezondheid in onze leefomgeving, kunnen we komen tot rationele afwegingen die daadwerkelijk bijdragen aan verbetering. De levendige dialoog rond MNP die inmiddels op gang is gekomen, laat zien dat we wat dat betreft op de goede weg zijn.

Lijst met afkortingen

ADME	absorptie (opname), distributie (verdeling over het lichaam) metabolisme (omzetting) en excretie (uitscheiding)
ATHENA	doorbraakproject dat gericht is op het standaardiseren en harmoniseren van MNP-blootstellingsgegevens
AOP's	Adverse Outcome Pathways, biologische 'routes' naar ongewenste gezondheidsuitkomsten
CEN	Europees Comité voor Standaardisering
CUSP	Research Cluster to Understand the Health Impacts of Micro- and Nanoplastics (Europees programma)
EFSA	European Food Safety Authority
FAIR-data	gegevens die Findable (vindbaar), Accessible (bereikbaar), Interoperable (door anderen bruikbaar) en Reusable (herbruikbaar) zijn
ICCA	International Council of Chemical Associations
IenW	(ministerie van) Infrastructuur en Waterstaat
ISO	International Organization for Standardization
KIA	Kennis- en Innovatie Agenda
KNAW	Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen
LCA	levenscyclus-analyse om te zien wat er met een stof gebeurt van productie tot en met afbraak of ophoping in het milieu
MNP	micro- en nanoplastics
MOMENTUM	Nederlands publiek-privaat consortium voor het bestuderen van de gezondheidseffecten van MNP
MPI	Microplastics Index van een plastic geeft aan hoe gemakkelijk uit dit polymeer MNP ontstaan bij mechanische belasting
NCad	Nationaal Comité advies dierproevenbeleid
NGRA	Next Generation Risk Assessment, nieuwe benaderingen van risicobeoordeling
NVWA	Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling
PBK-modellen	Physiologically based pharmacokinetic models, computermodellen voor de opname, verdeling, omzetting en uitscheiding van stoffen, gebaseerd op kennis over de fysiologie
PIAMA	Prevention and Incidence of Asthma and Mite Allergy, Groningse cohortstudie bij 0-18-jarigen naar de invloed van leefstijl en omgeving op astma, allergie en longfunctie
PA	polyamide; een bekend polyamide is nylon
PET	polyetheentereftalaat
PFAS	per- en polyfluoroalkylstoffen, een groep zeer slecht biologisch afbreekbare stoffen met vele toepassingen
PP	polypropyleen
PVC	polyvinylchloride
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
QA/QC	Quality Assessment/Quality Control, kwaliteitstoetsing (o.a. bij wetenschappelijk onderzoek)
QIVIVE	Quantitative <i>in Vitro</i> to <i>in Vivo</i> Extrapolation, een manier om resultaten uit <i>in vitro</i> -modelsystemen te vertalen naar de mens
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Europese regelgeving)
ROS	reactive oxygen species, reactieve zuurstofsoorten
UNEP	United Nations Environment Programme
UV	ultraviolet licht
VWS	(ministerie van) Volksgezondheid, Welzijn en Sport
WHO	World Health Organization, Wereldgezondheidsorganisatie

Bijlagen

1. Betrokken personen en organisaties

ZonMw bedankt allen die rechtstreeks of indirect hebben bijgedragen aan de totstandkoming van deze Kennisagenda voor hun inzet en betrokkenheid. De kritische en opbouwende input uit wetenschap en samenleving is van grote waarde geweest, zowel voor dit document als voor de dialoog die nodig is voor toekomstige ontwikkelingen.

Redactieteam

- Pieter van Megchelen (tekstschrijver en redacteur)
- Frank Pierik (ZonMw)
- Marije van der Kamp (ZonMw)
- Juliette Legler (Universiteit Utrecht)
- Emma Kasteel (Universiteit Utrecht)
- Kyungjun Kim (Universiteit Utrecht)

Expertgroep

- Bart Koelmans (Wageningen University and Research, WUR)
- Matthijs de Winter (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM)
- Ana Maria de Roda Husman (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM)
- Nienke Vrisekoop (Universitair Medisch Centrum Utrecht)
- Sieger Henke (TNO)
- Raymond Pieters (Universiteit Utrecht)

Geïnterviewde organisaties

- Branchevereniging voor banden- en wielenbranche (VACO)
- Consumentenbond
- Gezondheidsraad
- GGD Haaglanden
- Health-Holland
- Kennisinstituut Duurzaam Verpakken / Verpact
- Koninklijke Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI)
- KWR

- Milieu Centraal
- Ministerie Infrastructuur en Waterstaat – directoraat-generaal Water en Bodem
- Ministerie Infrastructuur en Water – directoraat-generaal Milieu en Internationaal
- Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport – directie Publieke Gezondheid
- Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport – directie Voeding, Gezondheidsbescherming en Preventie
- Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA)
- Plastic Soup Foundation
- RecyBEM
- Rijkswaterstaat (RWS)
- Stichting Technologisch Kenniscentrum Textielverzorging (TKT)
- Transitieagenda Kunststoffen
- Vereniging van waterbedrijven in Nederland (VEWIN)
- Voedingscentrum
- Vereniging van Verf- en Drukinktfabrikanten (VVF)

Input gegeven via enquête²¹

- Circular Plastics NL
- Fibrant B.V.
- GGD Rotterdam-Rijnmond
- KWR
- Malvern Panalytical
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
- Modint
- Nederlandse Cosmetica Vereniging (NCV)
- Nederlandse Vereniging van Rubberfabrikanten (NVR TRA)
- Nederlandse Vereniging van Ziekenhuizen (NVZ)
- Plastics Europe
- Raad voor de leefomgeving en infrastructuur
- Radboud Universitair Medisch Centrum
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
- Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)
- TNO
- Wetsus

Meerdere onderzoekers betrokken bij MOMENTUM en/of de doorbraakprojecten, werkzaam bij:

- Erasmus Medical Center Rotterdam
- Hogeschool Utrecht
- Radboud Universiteit
- TNO
- Universitair Medisch Centrum Utrecht
- Universiteit Groningen
- Universiteit Leiden
- Universiteit Utrecht
- Vrije Universiteit Amsterdam
- Wageningen Universiteit

²¹ Er hebben meer organisaties deelgenomen, maar sommige deelnemers hebben de optie aangevinkt dat zij niet willen dat hun organisatie genoemd zou worden.

2. Literatuur

- Bai, C. L., Wang, D., Luan, Y.-L., Huang, S.-N., Liu, L.-Y., & Guo, Y. (2024). A review on micro- and nanoplastics in humans: Implication for their translocation of barriers and potential health effects. *Chemosphere*, 142424–142424. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142424>
- Boersma, A., Grigoriadi, K., Nooijens, M. G. A., Henke, S., Kooter, I. M., Parker, L. A., Dortmans, A., & Urbanus, J. H. (2023). Microplastic Index – How to Predict Microplastics Formation? *Polymers*, 15(9), 2185–2185. <https://doi.org/10.3390/polym15092185>
- Brits, M., van Velzen, M. J. M., Sefiloglu, F. Ö., Scibetta, L., Groenewoud, Q., Garcia-Vallejo, J. J., Vethaak, A. D., Brandsma, S. H., & Lamoree, M. H. (2024). Quantitation of micro and nanoplastics in human blood by pyrolysis-gas chromatography–mass spectrometry. *Microplastics and Nanoplastics*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43591-024-00090-w>
- Brouwer, H., Busch, M., Yang, S., Venus, T., Aalderink, G., Crespo, J. F. F., Villacorta, A., Hernández, A., Estrela-Lopis, I., Boeren, S., & Bouwmeester, H. (2025). Toxicity of true-to-life microplastics to human iPSC-derived intestinal epithelia correlates to their protein corona composition. *Journal of Hazardous Materials*, 495, 138908. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138908>
- Büks, F., & Kaupenjohann, M. (2020). Global concentrations of microplastics in soils – a review. *SOIL*, 6(2), 649–662. <https://doi.org/10.5194/soil-6-649-2020>
- Büks, F., & Kaupenjohann, M. (2022). What comes after the Sun? On the integration of soil biogeochemical pre-weathering into microplastic experiments. *SOIL*, 8(1), 373–380. <https://doi.org/10.5194/soil-8-373-2022>
- Busch, M., Brouwer, H., Aalderink, G., Bredeck, G., Kämpfer, A. A. M., Schins, R. P. F., & Bouwmeester, H. (2023). Investigating nanoplastics toxicity using advanced stem cell-based intestinal and lung in vitro models. 5. <https://doi.org/10.3389/ftox.2023.1112212>
- Cella, C., La Spina, R., Mehn, D., Fumagalli, F., Ceccone, G., Valsesia, A., & Gilliland, D. (2022). Detecting Micro- and Nanoplastics Released from Food Packaging: Challenges and Analytical Strategies. *Polymers*, 14(6), 1238. <https://doi.org/10.3390/polym14061238>
- Chen, J., Qi, R., Cheng, Y., Wang, L., & Cao, X. (2024). Effects of micro/nanoplastics on oxidative damage and serum biochemical parameters in rats and mice: a meta-analysis. *Environmental Geochemistry and Health*, 46(6). <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01972-x>
- Dang, F., Wang, Q., Huang, Y., Wang, Y., & Xing, B. (2022). Key knowledge gaps for One Health approach to mitigate nanoplastic risks. *Eco-Environment & Health*. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.02.001>
- Danopoulos, E., Jenner, L., Twiddy, M., & Rotchell, J. M. (2020). Microplastic contamination of salt intended for human consumption: a systematic review and meta-analysis. *SN Applied Sciences*, 2(12). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03749-0>
- Danopoulos, E., Twiddy, M., & Rotchell, J. M. (2020). Microplastic contamination of drinking water: A systematic review. *PLOS ONE*, 15(7), e0236838. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236838>
- Danopoulos, E., Twiddy, M., West, R., & Rotchell, J. M. (2021). A rapid review and meta-regression analyses of the toxicological impacts of microplastic exposure in human cells. *Journal of Hazardous Materials*, 427, 127861. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127861>
- Donkers, J. M., Höppener, E. M., Grigoriev, I., Will, L., Melgert, B. N., van der Zaan, B., van de Steeg, E., & Kooter, I. M. (2022). Advanced epithelial lung and gut barrier models demonstrate passage of microplastic particles. *Microplastics and Nanoplastics*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s43591-021-00024-w>

- Dusza, H. M., Katrukha, E. A., Nijmeijer, S. M., Akhmanova, A., Vethaak, A. D., Walker, D. I., & Legler, J. (2022). Uptake, Transport, and Toxicity of Pristine and Weathered Micro- and Nanoplastics in Human Placenta Cells. *Environmental Health Perspectives*, 130(9). <https://doi.org/10.1289/ehp10873>
- Dusza, H. M., van Boxel, J., van Duursen, M. B. M., Forsberg, M. M., Legler, J., & Vähäkangas, K. H. (2022). Experimental human placental models for studying uptake, transport and toxicity of micro- and nanoplastics. *Science of the Total Environment*, 860, 160403. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160403>
- Eberhard, T., Casillas, G., Zarus, G. M., & Barr, D. B. (2024). Systematic review of microplastics and nanoplastics in indoor and outdoor air: identifying a framework and data needs for quantifying human inhalation exposures. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41370-023-00634-x>
- Faber, M., Marinković, M., de Valk, E., & Waaijers-van der Loop, S. L. (2021). *Paints and microplastics Exploring recent developments to minimise the use and release of microplastics in the Dutch paint value chain*. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0037.pdf>
- Gouin, T., Ellis-Hutchings, R., Pemberton, M., & Wilhelmus, B. (2024). Addressing the relevance of polystyrene nano- and microplastic particles used to support exposure, toxicity and risk assessment: implications and recommendations. *Particle and Fibre Toxicology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00599-1>
- Gruber, E. S., Stadlbauer, V., Pichler, V., Resch-Fauster, K., Todorovic, A., Meisel, T. C., Trawoeger, S., Hollóczki, O., Turner, S. D., Wadsak, W., Vethaak, A. D., & Kenner, L. (2022). To Waste or Not to Waste: Questioning Potential Health Risks of Micro- and Nanoplastics with a Focus on Their Ingestion and Potential Carcinogenicity. *Exposure and Health*, 15. <https://doi.org/10.1007/s12403-022-00470-8>
- Huang, W., Song, B., Liang, J., Niu, Q., Zeng, G., Shen, M., Deng, J., Luo, Y., Wen, X., & Zhang, Y. (2020). Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 124187. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124187>
- Hunt, K., Davies, A., Fraser, A., Burden, C., Howell, A., Buckley, K., Harding, S., & Danya Bakhbakhi. (2024). *Exposure to microplastics and human reproductive outcomes: A systematic review*. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.17756>
- Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., 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(1), 410–422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Koelmans, A. A., Redondo-Hasselerharm, P. E., Nor, N. H. M., de Ruijter, V. N., Mintenig, S. M., & Kooi, M. (2022). Risk assessment of microplastic particles. *Nature Reviews Materials*, 7(2), 138–152. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00411-y>
- Lane, T., Wardani, I., & Koelmans, A. A. (2025). Exposure scenarios for human health risk assessment of nano- and microplastic particles. *Microplastics and Nanoplastics*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s43591-025-00134-9>
- Leslie, H. A., J. M. van Velzen, M., Brandsma, S. H., Vethaak, D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163(107199), 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Leso, V., Battistini, B., Vetrani, I., Reppuccia, L., Fedele, M., Ruggieri, F., Bocca, B., & Iavicoli, I. (2023). The endocrine disrupting effects of nanoplastic exposure: A systematic review. *Toxicology and Industrial Health*, 39(11), 613–629. <https://doi.org/10.1177/07482337231203053>

- Liu, W., Zhang, B., Yao, Q., Feng, X., Shen, T., Guo, P., Wang, P., Bai, Y., Li, B., Wang, P., Li, R., Zhi, Q., & Li, N. (2023). Toxicological effects of micro/nano-plastics on mouse/rat models: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1103289>
- López, A. P. A., Trilleras, J., A. Arana, V., Stella Garcia-Alzate, L., & David Grande-Tovar, C. (2023). Atmospheric microplastics: exposure, toxicity, and detrimental health effects. *RSC Advances*, 13(11), 7468–7489. <https://doi.org/10.1039/D2RA07098G>
- Maganti, S., & Akkina, R. (2023). *Detection and characterisation of microplastics in animal feed*. Online J. Anim. Feed Res. [https://ojs.iafr.com/main/attachments/article/171/OJAFR%2013\(5\)%20348-356](https://ojs.iafr.com/main/attachments/article/171/OJAFR%2013(5)%20348-356)
- Mahendran, R., & Ramaswamy, S. N. (2024). Nanoplastics as Trojan Horses: Deciphering Complex Connections and Environmental Ramifications: A Review. *Chemistry Africa*, 7(5), 2265–2282. <https://doi.org/10.1007/s42250-023-00865-3>
- Okeke, E. S., Ezeorba, T. P. C., Chen, Y., Mao, G., Feng, W., & Wu, X. (2022). Ecotoxicological and health implications of microplastic-associated biofilms: a recent review and prospect for turning the hazards into benefits. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(47), 70611–70634. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22612-w>
- Okeke, E. S., Ezeorba, T. P. C., Chen, Y., Mao, G., Feng, W., & Wu, X. (2024). Association of tetrabromobisphenol A (TBBPA) with micro/nano-plastics: A review of recent findings on ecotoxicological and health impacts. *Science of the Total Environment*, 927, 172308. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172308>
- Panizzolo, M., Martins, V. H., Ghelli, F., Squillacioti, G., Bellisario, V., Garzaro, G., Bosio, D., Colombi, N., Bono, R., & Bergamaschi, E. (2023). Biomarkers of oxidative stress, inflammation, and genotoxicity to assess exposure to micro- and nanoplastics. A literature review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115645. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115645>
- Parker, L. A., Höppener, E. M., Van Amerlooij, E., Henke, S., Kooter, I. M., Grigoriadi, K., Nooijens, M. G. A., Brunner, A. M., & Boersma, A. (2023). *Protocol for the production of micro- and nanoplastic test materials*. 3(1). <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00058-2>
- Parker, L. A., Höppener, E., Henke, S., Boersma, A., & Brunner, A. M. (2024). Sample Passports MOMENTUM Test Materials. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13683075>
- Pulvirenti, E., Ferrante, M., Barbera, N., Favara, C., Aquilia, E., Palella, M., Cristaldi, A., Oliveri Conti, G., & Fiore, M. (2022). Effects of Nano and Microplastics on the Inflammatory Process: *In Vitro* and *In Vivo* Studies Systematic Review. *Frontiers in Bioscience*, 27(10), 287–287. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2710287>
- Quik, J. T. K., & Waaijers-van der Loop, S. (2021). *Microplastics in indoor air a literature review*. <https://rivm.openrepository.com/entities/publication/dc7c6c08-c0ef-4606-a52f-b01b3174695d>
- Rahman, A., Sarkar, A., Yadav, O. P., Achari, G., & Slobodnik, J. (2021). Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Science of the Total Environment*, 757(143872), 143872. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143872>
- Rillig, M. C., Ingraffia, R., & de Souza Machado, A. A. (2017). Microplastic Incorporation into Soil in Agroecosystems. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01805>
- Roslan, N. S., Lee, Y. Y., Ibrahim, Y. S., Tuan Anuar, S., Yusof, K., Lai, L. A., & Brentnall, T. (2024). Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review. *Journal of Global Health*, 14. <https://doi.org/10.7189/jogh.14.04179>
- Sharma, R. K., Kumari, U., & Kumar, S. (2024). Impact of Microplastics on Pregnancy and Fetal Development: A Systematic Review. *Cureus*, 16(5). <https://doi.org/10.7759/cureus.60712>

- Snekkevik, V. K., Cole, M., Gomiero, A., Haave, M., Khan, F. R., & Lusher, A. L. (2024). Beyond the Food on Your Plate: Investigating sources of microplastic contamination in home kitchens. *Heliyon*, 10(15), e35022–e35022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35022>
- Song, S., van Dijk, F., Vasse, G. F., Liu, Q., Gosselink, I. F., Weltjens, E., Remels, A., Jager, M., Bos, S., Li, C., Stoeger, T., Rehberg, M., Kutschke, D., van Eck, G., Wu, X., Willems, S. H., Boom, D. H. A., Kooter, I. M., Spierings, D., & Wardenaar, R. (2024). Inhalable Textile Microplastic Fibers Impair Airway Epithelial Differentiation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 209(4), 427–443. <https://doi.org/10.1164/rccm.202211-2099oc>
- Stunnenberg, M., & Husman, A. M. de R. (2024). It's a matter of microbes: a perspective on the microbiological aspects of micro- and nanoplastics in human health. *Frontiers in Nanotechnology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnano.2024.1368437>
- Symeonides, C., Aromataris, E., Mulders, Y., Dizon, J., Stern, C., Barker, T. H., Whitehorn, A., Pollock, D., Marin, T., & Dunlop, S. (2024). An Umbrella Review of Meta-Analyses Evaluating Associations between Human Health and Exposure to Major Classes of Plastic-Associated Chemicals. *Annals of Global Health*, 90(1), 52. <https://doi.org/10.5334/aogh.4459>
- Thompson, R. C., Courteney-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., & Koelmans, A. A. (2024). Twenty years of microplastics pollution research—what have we learned? *Science*, 386(6720). <https://doi.org/10.1126/science.adl2746>
- van den Berg, A. E. T., Plantinga, M., Vethaak, D., Adriaans, K. J., Bol-Schoenmakers, M., Legler, J., Smit, J. J., & Pieters, R. H. H. (2022). Environmentally weathered polystyrene particles induce phenotypical and functional maturation of human monocyte-derived dendritic cells. *Journal of Immunotoxicology*, 19(1), 125–133. <https://doi.org/10.1080/1547691x.2022.2143968>
- Vasse, G. F., & Melgert, B. N. (2024). Microplastic and plastic pollution: impact on respiratory disease and health. *European Respiratory Review*, 33(172), 230226–230226. <https://doi.org/10.1183/16000617.0226-2023>
- Vitali, C., Peters, R., Janssen, H.-G., & W.F.Nielen, M. (2022). Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages; part I. Occurrence. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 116670. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116670>
- Vogel, A., Tentschert, J., Pieters, R., Bennet, F., Dirven, H., van den Berg, A., Lenssen, E., Rietdijk, M., Broßell, D., & Haase, A. (2024). Towards a risk assessment framework for micro- and nanoplastic particles for human health. *Particle and Fibre Toxicology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00602-9>
- Wagner, M., Monclús, L., Arp, H. P. H., Groh, K. J., Løseth, M. E., Muncke, J., Wang, Z., Wolf, R., & Zimmermann, L. (2024, March 14). *State of the science on plastic chemicals - Identifying and addressing chemicals and polymers of concern*. Zenodo. <https://zenodo.org/records/10701706>
- Wardani, I., Nor, M., Wright, S. L., Kooter, I. M., & Koelmans, A. A. (2024). Nano- and Microplastic PBK modeling in the context of human exposure and risk assessment. *Environment International*, 186, 108504–108504. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108504>
- World Health Organization. (2019, August 28). *Microplastics in drinking-water*. [www.who.int](https://www.who.int/publications/i/item/9789241516198). <https://www.who.int/publications/i/item/9789241516198>
- World Health Organization. (2022, August 30). *Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health*. www.who.int. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608>

- Zhang, H., Gao, Y., Zheng, Y., Zheng, J., He, J., Shi, J., Zhang, K., Song, Y., Zhang, J., Shi, X., Zhang, R., Ding, Y., Jing, Y., Xu, K., & Wang, J. (2024). Potential toxicity of microplastics on vertebrate liver: A systematic review and meta-analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 286, 117166. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117166>
- Zhang, Z., Meng, J., Tian, J., Li, N., Chen, Z., Yun, X., Song, D., Li, F., Duan, S., & Zhang, L. (2024). Reproductive and developmental implications of micro- and nanoplastic internalization: Recent advances and perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 286, 117245. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117245>
- Zhu, L., Pan, W., Zhao, X., Wang, F., Wang, C., Kang, Y., Dong, Z., Shao, B., Wu, F., & AN, L. (2024). Insights into human exposure to microplastics through drinking water: Current state of the science. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/10643389.2024.2371622>

Colofon

ZonMw: Met kennis werken aan
een goede gezondheid voor iedereen

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

Projectleiding ZonMw

Frank Pierik en Marije van der Kamp

Redactie

Pieter van Megchelen (tekstschrijver en redacteur)

Juliette Legler (wetenschappelijk)

Emma Kasteel (wetenschappelijk)

Kyungjun Kim (wetenschappelijk)

Illustraties en opmaak:

VormVijf (www.vormvijf.nl)

Gepubliceerd op 3 november 2025



ZonMw
Laan van Nieuw Oost-Indië 334
2593 CE Den Haag

www.zonmw.nl