Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Kennisnotitie

Microplastics in de lucht

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

Auteurs:
Wanda van der Stel
Flemming Cassee
Centrum:
DMG
Contact:
Wanda van der Stel
wanda.van.der.stel@rivm.nl
Kenmerk:
KN-2025-0047
DOI:
10.21945/RIVM-KN-2025-0047
Datum:
5 juni 2025

Miljarden minuscule plastic deeltjes, microplastics en nanoplastics (MNP), zweven onzichtbaar in de lucht die we inademen. Te klein om te zien, maar overal om ons heen. Deze piepkleine stukjes plastic komen van allerlei plekken en vermengen zich met fijnstof. Studies tonen aan dat wij deze microplastics binnenkrijgen via ons voedsel, daarnaast wijst steeds meer onderzoek uit dat we ook via de lucht worden blootgesteld. Het is echter nog niet duidelijk wat de nadelige gevolgen zijn van deze plastic deeltjes op onze gezondheid, dieren en het milieu.

In deze kennisnotitie vatten wij de huidige kennis samen over onze blootstelling aan microplastics via de lucht. Er is nog veel wat we niet weten. De meeste studies kijken naar wat er gebeurt bij kortdurende blootstelling aan grote hoeveelheden microplastics. Maar we ademen voortdurend kleine hoeveelheden in. Daarnaast wordt er alleen nog maar op kleine schaal gekeken naar de immissies van microplastics in Nederland. Om echt te begrijpen wat de gevolgen zijn, hebben we meer onderzoek nodig, inclusief onderzoek naar de gevolgen in combinatie met andere schadelijke stoffen in de lucht.

De voordelen van de toepassing van polymeren maakt dat we (nog) niet zonder plastic kunnen, dus we moeten slimme keuzes maken. Welke plastics laten we toe? Welke zijn biologisch afbreekbaar of herbruikbaar? Meer kennis vergaren is noodzakelijk om goed beleid te kunnen maken, onzekerheden weg te nemen en de werkelijke risico's te kunnen inschatten.

Inleiding

Plastics zijn er in verschillende vormen en samenstellingen en bestaan grotendeels uit polymeren. Dit zijn ketens van moleculen van natuurlijke of synthetische oorsprong. Microplastics zijn plastic deeltjes met een afmeting kleiner dan 5 millimeter, waarvan de allerkleinste slechts enkele nanometers groot zijn. Microplastics en nanoplastics (MNP) zijn afkomstig van verschillende bronnen en kunnen aanwezig zijn in de lucht als onderdeel van fijnstof. We worden ons steeds bewuster van onze mogelijke blootstelling aan MNP. Deze bewustwording gaat gepaard met onzekerheden over de nadelige invloed op mens, dier en milieu. In deze kennisnotitie in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Duurzame Mobiliteit en Circulaire Economie in het kader van de opdracht DLO.22 Luchtkwaliteit en gezondheid van Programma 24, zetten we de huidige kennis over MNP in de lucht onder elkaar.

Definitie van microplastic deeltjes

De Europese Commissie heeft microplastics gedefinieerd als 'synthetische polymeerdeeltjes kleiner dan vijf millimeter die organisch en onoplosbaar zijn en bestand tegen afbraak'[1]. In deze notitie gaan we uit van "een materiaal bestaande uit meer dan 1% synthetische polymeren (≥1 massapercentage), veelal met toevoegingen (bewust gekozen of ontstaan tijdens de levensduur van het plastics)".
MNP voldoen aan de volgende afmetingen 1) alle dimensies vallen in de range van 0.1 tot 5 millimeter of 2) een lengte van 0.3 tot 15 millimeter met een lengte/diameter verhouding groter dan 3 (vezels). Voor het kunnen inademen, kunnen de definities van fijnstof worden gehanteerd.

Vanuit de kennis over fijnstof en nanomaterialen is er reden tot zorg voor onze gezondheid als het gaat om de aanwezige MNP in de lucht, vanwege de volgende aspecten:

- **Deeltjesgrootte:** Hoe kleiner de deeltjes, hoe gemakkelijker deze opgenomen worden in de verschillende milieu-compartimenten (water, lucht en bodem), zich vervolgens verspreiden en uiteindelijk terechtkomen in onze ingeademde lucht en/of voedselketen. Hoe kleiner de deeltjes, hoe groter de kans dat de deeltjes zich na inademen door het hele lichaam kunnen verspreiden. Door het kleine formaat kunnen MNP mogelijk weefsels en organen binnendringen en zo oxidatieve stress[2], ontstekingen, en al dan niet onomkeerbare schadelijke effecten in het lichaam veroorzaken.
- **Toxiciteit:** Los van het feit dat MNP zelf schadelijk kunnen zijn vanwege het deeltjes- of vezelkarakter, kunnen ze ook schadelijke chemicaliën uit het milieu adsorberen of al bevatten (bijvoorbeeld weekmakers). Bij inname door mensen kunnen deze chemicaliën mogelijk vrijkomen in het lichaam, wat kan leiden tot nadelige gezondheidseffecten.
- **Accumulatie:** MNP kunnen mogelijk ophopen in het lichaam, omdat de aanwezige polymeren bijna niet reageren met andere chemicaliën of in het lichaam aanwezige zuren of enzymen, en omdat ze niet of heel slecht oplosbaar zijn in bijvoorbeeld bloed of andere lichaamsvloeistoffen. Dat betekent dat het lichaam MNP niet makkelijk afbreekt of verwijdert. Ondanks relatief lage MNP-concentraties in de lucht kunnen er uiteindelijk wel hogere concentraties in het lichaam voorkomen.

Er is weinig bekend over de gezondheidseffecten van MNP als gevolg van blootstelling via inademen. Door gebrek aan goede metingen vordert het onderzoek naar de omvang van de gezondheidsrisico's van MNP-blootstellingen vanuit de lucht die we inademen, maar langzaam. Dit is onder meer door de Wereld Gezondheidsorganisatie vastgesteld [WHO 2022]. Daarnaast heeft ook de 'European Commission's Scientific Advice Mechanism' een statement gepubliceerd over de toenemende zorgen over MNP in onze omgeving [EU 2019]. Verschillende afzonderlijke landen hebben rapporten uitgebracht over MNP in voedsel en het milieu, de benodigdheden voor een passende risicobeoordeling en de zorgen over de mogelijke consequenties voor onze gezondheid [GEA 2020, Health Canada 2020, COT 2021, VKM 2019]. In alle rapporten wordt benadrukt dat er een groot gebrek is aan kennis over de verspreiding en risico's van MNP in ons milieu in het algemeen en voor de deeltjes aangetroffen in het compartiment lucht in het bijzonder.

[1] https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/microplastics_en
[2] Oxidatieve stress = Een reactie die optreedt wanneer er een verstoorde balans is tussen substanties die oxidatie reactie kunnen aangaan en het antioxiderende vermogen van onze cellen.

Om uiteindelijke uitspraken te kunnen doen over de gezondheidsrisico's van MNP in de lucht voor mensen en beleid te kunnen adviseren over handelingsperspectieven, zijn antwoorden op de volgende vragen nodig:

1) Uit welke polymeren bestaan de MNP waaraan de mens wordt blootgesteld, wat is de deeltjesgrootteverdeling en wat zijn de bronnen?
2) In welke hoeveelheden zijn MNP aanwezig in de lucht, dus aan hoeveel MNP wordt een individu blootgesteld?
3) Welke hoeveelheid MNP krijgt een individu daadwerkelijk binnen, wat is onze interne blootstelling?
4) Wat maakt MNP schadelijk voor de mens?

Bronnen, type polymeren, chemische stoffen en micro-organismen

In onze lucht is een mengsel van MNP aanwezig, afkomstig uit verschillende bronnen. MNP ontstaan doorgaans tijdens slijtage of afbraak van plastic producten (secundaire bronnen). Ook zijn er producten waarbij MNP bewust worden toegevoegd (primaire bronnen).

MNP-bron
Primair: deeltjes die opzettelijk klein worden gemaakt zoals microkorrels in verzorgingsproducten, of die overblijven bij industriële processen.
Secundair: Deeltjes die ontstaan tijdens gebruik en in het milieu terechtkomen door de afbraak van grotere plastic voorwerpen zoals flessen, zakken en verpakkingen. Dit gebeurt veelal onder invloed van UV-licht, wrijving en omgevingstemperatuur.

Bronnen
Uitstoot afkomstig van primaire bronnen (Tabel 1) zal in de toekomst een nog kleinere rol gaan spelen door nieuwe regelgeving. In september 2023 is een restrictie voor het opzettelijk gebruik van MNP in producten aangenomen door de Europese Commissie[3]. Met ingang van oktober 2023 zal dit geleidelijk leiden tot een volledig verbod op deze vorm van (primair) MNP-gebruik met een tijdlijn afhankelijk van de betrokken sectoren (extra tijd van 5 tot 10 jaar). Uitzondering op de regel geldt onder andere voor medische apparatuur, hulpmiddelen en verf/coatings. De restrictie geldt voor producten die een MNP-concentratie hebben van ≥ 0.01 massapercentage.

De belangrijkste bijdrage voor secundair MNP komt van de slijtage van banden, textiel en bouwmaterialen (waaronder verf) [Quik 2021, Quik 2024, Wright 2021, O'Brien 2023].

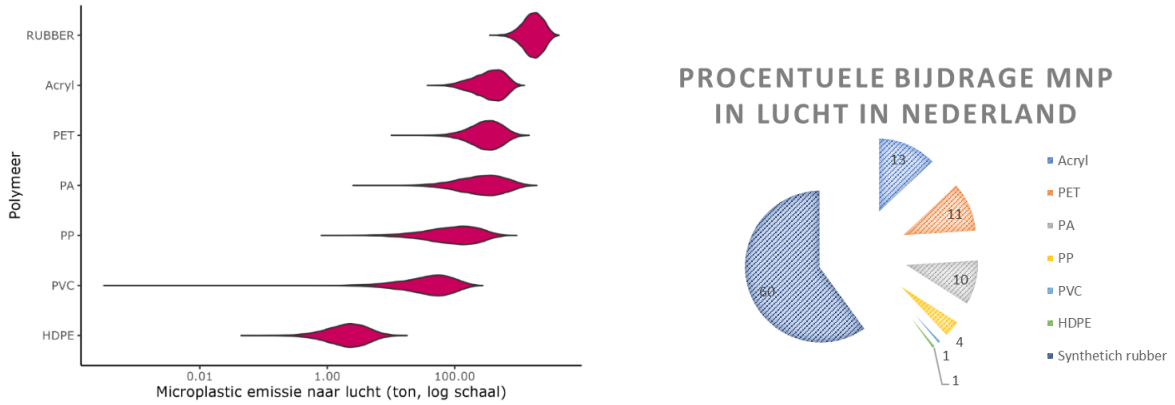
[3] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R2055

Tabel 1: Voorbeelden van primaire en secundaire microplastic bronnen [Thompson 2024]

	Categorie	Hoedanigheid	Toepassing
Primair	Pre-productie materialen	Pellets, vlokken, poeders	
	Bewust gesynthetiseerd voor direct gebruik	Glitter, confetti	Reflecteerde werking
		Onderzoek, medische apparatuur, hulpmiddelen	
	Bewust gesynthetiseerd en toegevoegd aan producten	In cosmetica	Gecontroleerde vrijgave, consistentie, als schuurmiddel
		In verf	Toevoeging ter bescherming tegen slijtage, aanslag en verhoogd chemische en mechanische weerstand
		In landbouwproducten	Gereguleerde vrijgave van meststoffen en pesticides
Secundair	Ontstaan tijdens slijtage	Banden	Afbraak van banden door rol- en wrijvingsweerstand op de weg
		Textiel	Microvezels die loskomen tijdens het wassen en dagelijks gebruik
		Bouwmaterialen	Materiaal dat vrijkomt door verwering en schuren
	Ontstaan tijdens afvalverwerking	Recycling van plastic	
	Ontstaan tijdens afbraak van grotere producten (in het milieu)	Direct in de lucht	Grotere plastic voorwerpen zoals flessen, zakken en verpakkingen breken af in kleinere deeltjes die in de lucht terecht kunnen komen
		Via het water in de lucht	MNP uit watermassa's kunnen in de lucht terechtkomen door processen als golfslag en wind

Veelgebruikte polymeren

Naar schatting komt in Nederland tussen de 1200 en 5700 ton MNP per jaar vrij naar de lucht. De meeste synthetische polymeren aanwezig in MNP zijn afkomstig uit de petrochemische industrie. Veruit de grootste bron van emissies naar de lucht is bandenrubber met zo’n 60% van de totale emissies (Figuur 1). De rest van de emissies uit bouwmaterialen en kleding bestaat vooral uit MNP opgebouwd uit de volgende polymeren: Acryl (~13%), PET, (~11%), PA (~10%), PP (~4%), PVC (~1%) en HDPE (<1%) [Quik 2024].



Figuur 1. Grafieken van de verdeling polymeren in microplastic emissies naar de lucht voor Nederland vanuit bandenslijtage, bouwmaterialen en kleding. Links: uitgedrukt in tonnen per type polymeer, Rechts: uitgedrukt als percentage van de totale emissie. Data: [Quik 2024]

De blootstelling aan secundaire MNP bestaat uit een mengsel van de afbraak en slijtage van plastic producten [Tirkey 2021]. Processen die verantwoordelijk zijn voor de vorming van secundaire MNP zijn UV, warmte, oxidatie, afbraak door (micro-)organismen, wind en golven. Zowel chemische stoffen als micro-organismen kunnen aan MNP hechten en zo verder verspreiden in het milieu of in het menselijk lichaam terechtkomen. Er is een kans dat ze door inbedding niet goed herkend worden door ons immuunsysteem en daarmee gezondheidsklachten veroorzaken [Yang 2023].

Aanwezigheid in de lucht: samenstelling, verspreiding en afbraak van MNP

MNP in de lucht kunnen door windstromingen over lange afstanden worden getransporteerd en kunnen uiteindelijk (weer) op de grond neerslaan of in watermassa's terechtkomen. Ze kunnen in de voedselketen terechtkomen wanneer ze door organismen worden opgenomen en vormen een risico voor het milieu en de gezondheid van mens en dier. Wereldwijd wordt gewerkt aan een beter begrip van de bronnen, de verspreiding en de gevolgen van MNP in de lucht voor de gezondheid van mens en dier. Om uitspraken te kunnen doen over de aanwezige hoeveelheden en de verdeling van het type MNP moet de samenstelling, de verspreiding en de afbraak van polymeermengsels uitgezocht worden.

Meten van MNP-aanwezigheid in de lucht

De MNP in de lucht zijn o.a. onderdeel van het aanwezige fijnstof. Op dit moment wordt in Nederland op ongeveer 100 plekken de luchtkwaliteit gemonitord[4]. Monitoring van de aanwezigheid van MNP vindt nog niet plaats op deze locaties. Welk percentage van fijnstof uit MNP bestaat, is daarom niet bekend. Om de bijdrage van MNP aan fijnstof en de impact van deze MNP zo optimaal mogelijk te kunnen inschatten, is een systematische aanpak nodig waarbij de samenstelling en verspreiding van de deeltjes in kaart wordt gebracht. Denk hierbij aan het verschil tussen locaties waar actief afbraakproducten vrijkomen (langs autowegen) en de meer landelijke gebieden waar mogelijk meer passieve verspreiding van de deeltjes plaatsvindt via luchtcirculatie. Los van het meten van de massa is het ook van belang om de afmetingen van de MNP te bepalen, omdat deze in belangrijke mate de kans op inademen, opname in het lichaam en ook de mate van schadelijkheid bepalen of beïnvloeden.

[4] https://www.luchtmeetnet.nl/

Modelleren van MNP-verspreiding via de lucht
Naast het uitvoeren van metingen is het ook mogelijk om de verspreiding van deeltjes te modelleren aan de hand van kennis over de bijdrage van de verschillende deeltjeseigenschappen en omgevingsfactoren. De verspreiding van MNP in de lucht is een optelsom van transport, dispersie en depositie [Wright 2021]. Deze processen zijn afhankelijk van de deeltjeseigenschappen (grootte, vorm en lengte) en omgevingsfactoren (luchtdruk, luchtvochtigheid, luchtsnelheden en windrichting). Voorbeelden van deze afhankelijkheden zijn:

- Kleinere deeltjes met een lage dichtheid worden meer teruggevonden en blijven langer achter in het milieu;
- Kortere vezels worden gemakkelijker verplaatst;
- Het seizoen heeft invloed op welke polymeren worden teruggevonden, daarnaast is de totale hoeveelheid deeltjes in de lucht in de herfst het laagst (dit wordt beïnvloed door storm, regen en sneeuw);
- Lage luchtdruk leidt tot turbulentie en daarmee gunstige condities voor verspreiding (geen lokale piekconcentraties).

Om de verspreiding van MNP door de verschillende milieucompartimenten goed te kunnen voorspellen, is het van belang dat er betrouwbare metingen worden uitgevoerd, waarbij deeltjesidentiteit, -vorm, -grootte en -aantallen worden vastgelegd. Daarnaast is informatie over zoveel mogelijk verschillende menselijke aspecten (bevolkingsdichtheid, industriële activiteiten, transportactiviteiten en bebouwing) en ecosystemen (kust, meren, bergen, bossen, vlakten) noodzakelijk voor een betrouwbare voorspelling.
Tot slot hangt een goede schatting van de samenstelling van MNP in de lucht ook samen met de beschikbare informatie over MNP in de andere milieucompartimenten. Dit geldt vooral voor de aanwezigheid van MNP in het water, van waaruit de deeltjes door turbulentie in de lucht terecht kunnen komen.

Samenstelling
Er zijn geen gestandaardiseerde methoden beschikbaar om het aandeel van MNP in de lucht direct te bepalen. Dit houdt in dat MNP aanwezig in de lucht eerst op filters moet worden verzameld en in het laboratorium moet worden gescheiden van de rest van fijnstof. De analytische technieken waarmee kan worden vastgesteld om welke polymeren het gaat, zijn nu nog beperkt tot MNP groter dan enkele micrometers.

Andere technieken zijn gebaseerd op het bepalen van de bouwstenen van polymeren waarbij weer niet goed duidelijk is wat de afmetingen dan zijn van de MNP. Ook het optimaal scheiden van allerlei ander materiaal is nog volop in ontwikkeling. Al met al zorgt dat ervoor dat vooral de wat grotere MNP in kaart worden gebracht, maar we nog weinig zicht hebben op de kleinste MNP. Tot slot zijn er inconsistenties in metingen met betrekking tot rapportage, experimentele opzet en de gebruikte eindpunten, wat het vergelijken van de resultaten verkregen door verschillende instanties en landen lastig, tot onmogelijk maakt [Wright 2021, O'Brien 2023, Thornton Hampton 2022].

Het is van belang om de studieopzet en gebruikte meettechnieken te optimaliseren en harmoniseren om vergelijkbare resultaten te verkrijgen tussen meetstations, regio's en labs. Ook is internationale samenwerking van belang om de bijdrage van microplastic verontreiniging vanuit onze buurlanden juist in te kunnen schatten.

Modelleren van polymeerfragmentatie en -afbraak
Om uiteindelijk te kunnen voorspellen wat de samenstelling is van het gevormde polymeermengsel moet er ook informatie beschikbaar zijn over het afbraakproces; oftewel het fragmenteren van de polymeren in kleinere deeltjes en de afbraak tot moleculen.

Het RIVM is betrokken bij modelleeractiviteiten om deze afbraakproducten in kaart te brengen. Het afbraakproces vindt plaats tijdens de gehele levenscyclus van een polymeer: tijdens productie, gebruik en recycling. Het is daarom van belang om te bepalen welk deel van de grote plastic producten uiteindelijk zo klein worden dat het onderdeel wordt van de fijnstoffractie (PM10) en daarmee kan worden ingeademd. TNO heeft een benadering voorgesteld voor het bepalen van de gevormde MNP aan de hand van de eigenschappen van het originele polymeermateriaal [Boersma 2023]. Hierbij wordt een MicroPlastic Index (MPI) bepaald die een indicatie is voor de verwachte kans dat een polymeer zal fragmenteren in deeltjes in de microrange. Deze index neemt verschillende vormen van veroudering mee zoals wrijving, die in verschillende grootte deeltjes resulteren.

Het modelleren van afbraakproducten is belangrijk, omdat er in modellen waar de polymeer levenscyclus gekoppeld wordt aan bijvoorbeeld menselijke gezondheid het juiste gewicht gehangen kan worden aan de bijdrage van verschillende type polymeren. Dit is van belang om de link met de bron in beeld te krijgen en zo te kunnen adviseren over de meest effectieve maatregelen.

Om de voorspelling van de formatie van afbraakproducten met behulp van modellen te verbeteren zijn er metingen nodig tijdens alle fasen in de polymeerlevenscyclus. Dit kunnen metingen zijn in de omgeving van polymeerproductielocaties, om meer inzicht te verkrijgen in de bijdrage van pre-productiematerialen. Daarnaast zijn monsters verkregen tijdens en rondom recyclingactiviteiten van belang om te kunnen beoordelen wat voor verschillende veranderingen in polymeersamenstellingen er kunnen optreden tijdens recycling. De impact van verschillende verouderingsomstandigheden; hitte, wrijving, UV, botsing et cetera, kan worden onderzocht onder gecontroleerde omstandigheden in laboratoria.

Aanwezigheid in het lichaam

De hoeveelheden waarin MNP in de lucht voorkomen (externe concentratie) zijn niet altijd een-op-een gecorreleerd met de uiteindelijke hoeveelheden in de luchtwegen of in de rest het menselijk lichaam (interne concentratie). De reden hiervoor is dat MNP zeer slecht door het lichaam worden opgenomen, gemetaboliseerd en afgebroken en/of niet door het lichaam kunnen worden afgevoerd, met als mogelijk gevolg dat ze ophopen in organen wanneer ze in het lichaam terecht zijn gekomen.

Interne concentratie
Gezondheidsrisico’s ontstaan wanneer MNP een interactie aangaan met of processen verstoren in onze externe barrières (epitheel in de longen en darmen) of in ons interne milieu terecht komen (bloedbaan en organen). Langdurige blootstelling of blootstelling aan hoge concentraties kan mogelijk leiden tot onomkeerbare schade in ons lichaam. Het is van belang om goed in kaart te brengen of en hoe externe concentraties gebruikt kunnen worden om interne concentraties in te schatten. Onderzoek naar interne blootstelling van mensen wordt o.a. gedaan in weefsel van patiënten en van gezonde mensen die vrijwillig meewerken aan het onderzoek. De afgelopen jaren claimen wetenschappers MNP aan te hebben getroffen in verschillende organen, waaronder longen en hersenen.

De detectie van MNP in weefsels kan met de huidige technieken een vertekend beeld geven. De technieken missen precisie, vooral voor kleine deeltjes. Extractie en afbraak van MNP onder hoge temperatuur, gevolgd door massaspectrometrie, worden belemmerd door vetten, met name voor PE en PVC. De techniekkeuze beïnvloedt de resultaten. Hoewel verspreiding door het lichaam aannemelijk is, vereist nauwkeurige kwantificering en identificatie verdere ontwikkeling, harmonisatie en standaardisatie van methoden.

Longweefsel
Jenner en collega's hebben voor het eerst aangetoond dat er een breed scala aan polymeren kan worden teruggevonden in longweefsel [Jenner 2022]. De verdeling in de longen varieerde sterk voor elk polymeer. Wanneer de longen als een geheel werden vergeleken met de dunne darm, dikke darm en keelamandelen, dan werd in de longen de hoogste deeltjesconcentratie per gram weefsel gevonden. In alle weefsels gold dat meer dan 50% van de MNP kleiner was dan 100 µm (maar groter dan 20 µm, omdat dat de ondergrens was van wat gemeten kon worden [Zhu 2024]. Andere onderzoekers vonden met andere technieken kleinere polymeren terug in de longen (afmeting 2-17 µm) [Amato-lourenço 2021]. Het is belangrijk om rekening te houden met het feit dat polymeren ook via voedsel en drinkwater het lichaam en het bloed bereiken. Eenmaal in het bloed kunnen de MNP het gehele lichaam worden rondgepompt en zo ook de longen bereiken.

Longslijm
Een andere manier om monsters af te nemen is door het verzamelen van longslijm door een deel van de longen te spoelen. Dit slijm is verantwoordelijk voor de afvoer van deeltjes die in onze longen terechtkomen en daarmee ook representatief voor de MNP die worden ingeademd. Uit enkele onderzoeken blijkt dat meer dan 90% van de polymeren tussen de 10-300µm groot was [Özgen Alpaydin 2024]. Dus ook relatief lange (waarschijnlijk hele dunne) plastic vezels kunnen worden ingeademd. Andere onderzoekers hebben MNP gemeten in opgehoest slijm en rapporteerden MNP kleiner dan 500µm en de helft van het aantal deeltjes was groter dan 75µm [Huang 2022].

Blootstelling vrijwilligers
Informatie afkomstig van proefpersonen waarvan de blootstelling aan MNP via de lucht gemeten wordt, kunnen een indicatie geven over de gevolgen van blootstelling via inhalatie. Er zijn o.a. in het EU-project POLYRISK[5,6] en het Britse project IONA[7] vrijwilligers naar verschillende verkeersintensieve plaatsen gebracht met een verwachte relatief hoge of lage blootstelling aan MNP (voornamelijk bandenslijtage, die hoger zal zijn bij remmen en accelereren bij een verkeersplein t.o.v. constante snelheid zoals op een snelweg) in de lucht. Onderzoekers binnen POLYRISK[8,9] kijken ook naar de blootstelling van vrijwilligers aan rubbergranulaat op sportvelden en van arbeiders aan het polymeermengsel dat vrijkomt in een textielfabriek. Een eerste (nog) ongepubliceerde analyse van de data afkomstig van de sportende vrijwilligers geeft aan dat er geen effect van de rubberdeeltjes op een set van gezondheidsindicatoren is vast te stellen. In alle gevallen gaat het om acute effecten die kunnen optreden na enkele uren van verhoogde blootstelling.

[5] https://www.uu.nl/organisatie/faculteit-diergeneeskunde/actueel/meedoen-aan-onderzoek/microplastics-research
[6] https://polyrisk.science/2023/11/02/investigating-the-link-between-traffic-related-air-pollution-microplastics-and-health/
[7] https://www.qmul.ac.uk/wiph/centres/centre-for-primary-care/primary-care-unit/iona-study/
[8] https://polyrisk.science/2023/06/28/new-polyrisk-study-examines-the-health-impact-of-microplastics-from-artificial-sports-pitches/
[9] https://polyrisk.science/2023/12/11/examining-occupational-exposure-to-micro-and-nano-plastics-in-the-textile-industry/

Omdat de vrijwilligers ook worden blootgesteld aan andere factoren dan MNP in hun dagelijks leven, zal het lastig zijn om een nadelig effect van de geteste MNP in detail vast te stellen. Dus, hoewel er zeker aanwijzingen zijn dat polymeren al dan niet via de lucht in het lichaam terechtkomen, is het niet duidelijk of de relatief beperkte hoeveelheid ten opzichte van de totale fijnstofblootstelling voor extra acute effecten kan zorgen. Ook is onbekend of deze blootstelling op termijn kan leiden tot onomkeerbare gezondheidseffecten en of er sprake is van accumulatie in de longen als gevolg van langdurige blootstelling. Het gebrek aan blootstellingsgegevens maakt het nu nog onmogelijk om grootschalig epidemiologisch onderzoek te doen.

Accumulatie in longweefsel
Accumulatie van MNP in de longen zal worden beïnvloed door hun aard en grootte, maar vooral ook doordat ze slecht oplossen. De verwachting is dat niet-oplosbaar plastic deeltjes, die niet worden verwijderd door fysieke mechanismen (slijmverplaatsing) of actieve afbraak (immuunsysteem), zich over maanden en jaren zullen ophopen in ons longweefsel. Wellicht zijn de MNP of de additieven die zij met zich meedragen op zichzelf niet instaat om acute schade te veroorzaken, maar kan een jarenlange blootstelling toch nadelige gevolgen hebben**.**

Schadelijkheid voor de mens

Het risico voor het optreden van nadelige gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan MNP voor de menselijke gezondheid, wordt naast de blootstelling aan MNP ook bepaald door de schadelijkheid (hazard) van de polymeren waaruit deze zijn opgebouwd.

Toxicologie
Het bepalen van de schadelijkheid van MNP onder laboratoriumomstandigheden wordt gedaan in dierstudies (*in vivo*) en in cellen (*in vitro*). In deze studies wordt geprobeerd om te achterhalen of MNP een interactie aan kunnen gaan met weefsels in ons lichaam en/of natuurlijke barrières passeren. Het is van belang om te achterhalen welke eigenschappen van de polymeren hier een rol in spelen (type, grootte, vorm), welke dosering leidt tot effecten en hoe uiteindelijk deze dosering kan worden gerelateerd aan menselijke blootstelling.

De dierstudies kunnen worden gebruikt om een inschatting te maken van de interne blootstelling die niet in gezonde vrijwilligers gemeten kan worden. Daarnaast kan er in detail gekeken worden naar blootstellingswaarden die gelinkt zijn aan het optreden van ontstekingen en weefselschade. Een beperkt aantal studies is uitgevoerd waarbij dieren zijn blootgesteld aan polymeren door middel van inhalatie. Deze studies laten zien dat ingeademde polymeren zich kunnen ophopen in longweefsel en daar ontstekingen veroorzaken [Li 2022, Lim 2021, Han 2022]. De laatste tijd wordt veel energie gestoken in onderzoek met geïsoleerde longcellen. Er is een groot aantal *in vitro*-modellen beschikbaar die verschillende gebieden (neus, bronchiën en alveoli) en natuurlijke processen (o.a. slijmproductie en immuunreacties) in onze luchtwegen nabootsen.

De tot nu toe uitgevoerde *in vivo*- en *in vitro*-studies met MNP hebben een aantal belangrijke beperkingen die het gebruik voor inschatten van de risico’s voor mensen lastig maakt. In veel gevallen wordt er niet gewerkt met MNP waaraan mensen in de praktijk onbedoeld worden blootgesteld. Vaak gaat het om synthetische polymeren, meestal polystyreen (PS) en het gebruik daarvan levert geen informatie over effecten van veroudering of de aanwezigheid van chemische of organische vervuiling. Daarnaast wordt ook wel geprobeerd van grotere plastics MNP te maken in het laboratorium,

waarbij het erg lastig blijkt om voldoende MNP te maken. Tot slot wordt er in *in vitro*-studies veel gewerkt met relatief kortdurende blootstellingen, waardoor een mogelijk effect afkomstig van langdurige blootstelling en daarmee mogelijke ophoping van polymeren of de aanwezige additieven/biologische verontreiniging gemist kan worden. Kortom, ook aan de experimentele kant zijn de nodige beperkingen die vooral het gevolg zijn van het niet beschikbaar hebben van het juiste testmateriaal.

Toxiciteit van stoffen uit polymeren
Er zijn verschillende groepen stoffen geassocieerd met plastics die een verhoogd risico vormen voor onze gezondheid. Bijvoorbeeld plastic verstevigers (zoals bisfenol A) en weekmakers (ftalaten) worden geassocieerd met een verstoring van de hormoonhuishouding en vormen daarmee een mogelijke oorzaak van verschillende ziekten [NVWA[10]]. Limieten voor de aanwezigheid van deze additieven in plastics worden gebaseerd op hun schadelijkheid, maar ook de gebruikswijze. Het is van belang dat we ons realiseren dat MNP vrij kunnen komen op verschillende momenten in de levenscyclus van het product en indirect toch in het luchtcompartiment belanden. De effecten van langdurige blootstelling aan kleine hoeveelheden zijn nog onbekend.

Er zijn verschillende (inter)nationale initiatieven met als doel om de toxicologische beoordeling van polymeren te verbeteren. Er wordt door diverse groepen hard gewerkt om beter MNP-testmateriaal te verkrijgen om realistische blootstellingsscenario's te kunnen uitvoeren. Wel is het nodig om de testmethoden te standaardiseren en aan richtlijnen te werken waarbij gebruik kan worden gemaakt van de ervaringen met nanomaterialen[11].

Epidemiologie
Epidemiologische studies kunnen helpen bij het bepalen van de schadelijkheid van MNP voor de mens, waarbij associaties worden bekeken tussen de aanwezigheid van MNP en het optreden van gezondheidseffecten. Tot nu toe is er nog niets gepubliceerd over een mogelijke associatie tussen MNP (in de lucht) en gezondheidseffecten. Dit komt vooral door gebrek aan bruikbare metingen van MNP in lucht.

Kwantificeren van gezondheidsrisico's

Het gezondheidsrisico van blootstelling aan MNP wordt bepaald door de blootstelling aan MNP enerzijds en de toxiciteit van MNP anderzijds. Enerzijds is het risico gering als er geen gezondheidseffect door de (hoge) blootstelling aan MNP wordt veroorzaakt. Anderzijds, als een MNP zeer toxisch is, maar er is nagenoeg geen sprake van blootstelling (bijvoorbeeld door inademen) dan is het risico ook gering. Risico's voor een populatie kunnen vooral met epidemiologisch onderzoek in kaart worden gebracht. Dit vereist metingen of reële schattingen van de concentraties en karakterisering van MNP in de lucht en deze ontbreken nog. Er is geen direct verband bekend tussen ingeademde MNP en luchtweggerelateerde klachten of andere gezondheidsklachten. De belangrijkste redenen tot zorg, als het gaat over blootstelling via de lucht, kunnen alleen worden weggenomen met systematisch onderzoek naar blootstellingen aan MNP en tegelijk ook kunnen duiden wat dat voor de gezondheid van de mens betekent. Als het gaat om het verbinden van de kennis vanuit toxicologisch onderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van de eerdergenoemde *in vitro*-modellen, dan is het ook noodzakelijk om te weten hoeveel MNP er bij het betreffende doelorgaan terecht kan komen. Voor epidemiologisch onderzoek moet duidelijk worden of MNP onderscheiden kunnen worden van alle andere

[10] https://www.nvwa.nl/onderwerpen/weekmakers
[11] https://echa.europa.eu/nl/regulations/nanomaterials

soorten van fijnstof, omdat alleen dan goed kan worden berekend welk aandeel van gezondheidseffecten geassocieerd met luchtverontreiniging toe te schrijven is aan MNP.

Nationale en internationale projecten

Er zijn diverse nationale en internationale projecten opgezet die als doel hebben om de wetenschappelijke kennis over MNP in het milieu (waaronder lucht) en het menselijk lichaam (interne blootstelling) beter in kaart te brengen. Daarnaast wordt er aandacht besteed aan de schadelijkheid van MNP en het gezondheidsrisico dat zij kunnen opleveren voor de mens. Een Nederlandse onderzoekssamenwerking op dit vlak valt onder het programma MNP & Health van ZonMw[12,13,14]. Het RIVM draagt hieraan bij via deelname aan het project MOMENTUM en het vervolg MOMENTUM-2. De Europese Commissie heeft daarnaast een vijftal projecten gefinancierd die zijn samengebracht in CUSP (*"European Cluster on the Health Impacts of Micro- and NanoPlastics"*). Hierin werken 21 Europese landen samen met het Joint Research Centre van de Europese Commissie in 5 projecten (AURORA, IMPtox, Plasticheal, PlasticsFatE, POLYRISK) om de blootstelling aan en gevaren van MNP te ontrafelen[15]. Het RIVM is beperkt betrokken bij deze projecten. Onderzoek naar de uitstoot en schadelijkheid van bronnen met een relatief grote bijdrage aan luchtverontreiniging zoals banden wordt o.a. gedaan in het Horizon-2020 project LEON-T[16]. Europese projecten zoals POLYRISK[17], ATHENA[18], Py-Harmony[19] en MLIdent[20] hebben als doel om gegevens te standaardiseren en betere methoden te ontwikkelen om polymeren te identificeren in verschillende milieucompartimenten en menselijke monsters.

Conclusies

Er zijn signalen dat MNP schadelijk zijn voor onze gezondheid. Verschillende studies tonen aan dat de deeltjes diep het lichaam binnen kunnen dringen, maar er is nog veel onduidelijk over of ze daadwerkelijk schadelijk zijn voor onze gezondheid.

Op dit moment wordt er op ongeveer 100 plekken in Nederland de luchtkwaliteit gemonitord, echter zijn MNP hier nog geen onderdeel van. Het investeren in monitoren van onze blootstelling aan MNP via de lucht levert informatie om mee te nemen in de bepaling van mogelijke grenswaarden en bijbehorend beleid. Met metingen van MNP in de lucht aangevuld met verspreidings- en blootstellingsmodellering kunnen schattingen worden gemaakt van nadelige gezondheidseffecten op populatieniveau. Hiervoor is in eerste instantie een gerichte meetcampagne nodig, waarbij ook de bijdragen vanuit verschillende bronnen in kaart worden gebracht om te adviseren over handelingsperspectief. Een schatting of de MNP in fijnstof een bedreiging vormen voor de gezondheid van de mens kan via experimenteel onderzoek worden verkregen. Belangrijke voorwaarde hierbij is dat gewerkt wordt met representatief materiaal en geharmoniseerde en gestandaardiseerde testmethoden.

[12] https://www.zonmw.nl/nl/artikel/maak-kennis-met-onderzoek-naar-microplastics
[13] https://www.zonmw.nl/sites/zonmw/files/typo3-migrated-files/Verkenning_microplastics_NL_2020.pdf
[14] Verkenning_microplastics_NL_2020.pdf Grotere agenda waar het MOMENTUM project onderdeel van is.
[15] https://cusp-research.eu/
[16] https://cordis.europa.eu/project/id/955387
[17] https://polyrisk.science/
[18] https://projecten.zonmw.nl/en/project/standardised-and-scalable-methods-quantify-and-characterise-mnp-environmental-compartments
[19] https://projecten.zonmw.nl/en/project/development-and-harmonization-pyrolysis-gc-ms-methods-identification-and-quantification
[20] https://projecten.zonmw.nl/en/project/harnessing-machine-learning-improve-identification-and-quantification-micro-and

De grote voordelen van de toepassingen van polymeren inclusief synthetisch rubber maakt dat het alleen maar verbieden geen haalbare optie is. Met onder anderen de elektrificatie van ons wagenpark wordt de blootstelling aan polymeren (rubbers) de komende jaren verhoudingsgewijs alleen maar meer. Indien duidelijk wordt welke mate van blootstelling of MNP-toepassing leidt tot nadelige gezondheidseffecten, dan kan ook worden gewerkt aan alternatieven die dergelijke effecten niet met zich meebrengen.

Het is op dit moment nog te vroeg om beleidsinterventies te identificeren en te kwantificeren of deze effect kunnen hebben. Het is nu eerst nodig om meer inzicht te krijgen en onzekerheden te verkleinen. Dit vergt niet alleen een inspanning vanuit de academische wereld, maar juist ook kennisopbouw en -integratie door instituten die beleid en regelgeving hierover kunnen informeren en adviseren, zoals het RIVM. Dit kan bijdragen aan het kunnen duiden van gepercipieerde risico's versus werkelijke gezondheidsrisico's van blootstelling aan MNP in de lucht.

Aanbevelingen

Vaststellen aandeel MNP in de lucht

- In kaart brengen van de samenstelling van het mengsel;
- Inzetten op methodestandaardisatie (nationaal en internationaal);
- Opzetten van een aantal systematische monsternamepunten in bestaande meetnetten;
- Onderscheid maken tussen microplastics én nanoplastics in fijnstof vanwege het verwachte verschil in opname en verspreiding in het lichaam en de mate van toxiciteit per massa-eenheid;
- Inzetten op zowel meten als modelleren ten behoeve van het schatten van blootstelling aan de mens;
- Inzetten op monitoren van de gehele levenscyclus van MNP en niet alleen de polymeren waaruit een microplastic is opgebouwd.

Aanwezigheid MNP in het lichaam

- In kaart brengen van interne blootstelling van de longen en de mate waarin de MNP zich kunnen ophopen in longen en andere weefsels;
- In kaart brengen van verschillen in blootstelling tussen groepen: geslacht, leeftijd, hoge gevoeligheid, beroepsgroepen;
- Investeren in onderzoek naar de correlatie tussen externe en interne blootstelling, om te bepalen of externe concentraties gebruikt kunnen worden om interne blootstelling in te schatten.

Bepalingen van de mate van schadelijkheid MNP

- Produceren van goed gekarakteriseerde en representatieve (voor humane blootstelling relevante) MNP;
- Inzetten op standaardisatie en validatie van testmethoden, formulering van richtlijnen en harmonisatie van onderzoekopzetten;
- Opstellen van richtlijnen voor extrapolatie van studies met dieren en cellen naar menselijke gezondheidsrisico's;
- Verifiëren of methoden, die worden ingezet bij fijnstof- en nanomaterialenonderzoek, geschikt zijn voor MNP.

Risico's

- Risicobeoordeling van MNP moet zich focussen op zowel de risico's van het polymeer als de bijdrage van chemische stoffen gebonden aan MNP, afbraakproducten en de mogelijke contaminatie met micro-organismen.

Afkortingen

Afk.	Volledig uitgeschreven	Voorbeelden
ABS	acrylonitrile butadieen styreen	Lego
BR	butadieen rubber	Banden, schoenzolen
CR	chloropreen	Grondstof voor rubber
CPE	chlorinated polyethyleen	Isolatie van kabels
EPDM	ethyleen propyleen dieen monomeer	Dakbedekking, afdichting
EVA	ethyleenvinylacetaat	Speelgoed, schoenen, sportbitjes
HDPE	hoge dichtheid polyethyleen	Buitenshuis (zeer weersresistent)
HR	halobutyl rubber	Fietsbanden (luchtdicht afsluiten)
NBR	nitril butadieen rubber	o-ringen
PA	polyamide	Nylon
PAN	polyacrylonitril	Vezels geschikt voor stoffen
PBS	polybutyleen succinaat	Landbouwfolie (biologisch afbreekbaar)
PC	polycarbonaat	"Veiligheidsglas"
PE	polyetheen	Kunstgras, luiers, maandverband
PET	polyethyleentereftalaat (polyester)	drinkflessen
PMMA	polymethyl-methacrylaat	plexiglas
PP	polypropeen	Meubels, jerrycans, babyflessen
PS	polystyreen	Piepschuim
PTFE	Polytetrafluoroethyleen	Teflon, anti-aanbak
PUR	polyurethaan	Matrassen, isolatiemateriaal
PVC	polyvinylchloride	Bouwmateriaal, regenkleding
SAN	styreenacrylonitril	Transparant serviesgoed
SB(R)	stryreen-butadieenrubber	Banden

MNP micro en nanoplastics
MPI microplastic index
PM particulated matter

Referenties

WHO 2022: Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health ISBN 978-92-4-005460-8
GEA 2020: Plastics in the environment (ISSN 2363-832X);
Health Canada 2020: Science assessment of plastic pollution: Environment and Climate Change Canada (ISBN 978-0-660-35897-0);
COT 2021: Overarching statement on the potential risks from exposure to microplastics (Report TOX/2019/62);
VKM Report 2019: Microplastics; occurrence, levels and implications for environment and human health related to food: Opinion of the steering commitee of the Norwegian Scientific Commitee for Food and Environment (ISBN: 978-82-8259-332-8)
EU 2019: Environmental and Health Risks of microplastic pollution ISBN 978-92-76-02425-5 doi:10.2777/65378
Quik, J.T.K. (2021) Microplastics in indoor air – RIVM rapportnummer 2021-0059;
Quik, J.T.K. 2024 Emission of Microplastics to Water, Soil, and Air. What can we do about it? – RIVM rapportnummer: 2024-0106;
Wright, S. L., et al. (2021). Micro Nano plastics, 1(1),
O'Brien, S., et al. (2023). Sci Total Environ., 874, 162193
Thompson, R. C., et al. (2024). Science, 386(6720), eadl2746

Tirkey, A., et al. (2021). Mar Pollut Bull, 170, 112604,
Yang, W., et al. (2023). Int J Mol Sci, 24(4),
Wright, S. L., et al. (2021). Micro Nano plastics, 1(1), 6
Thornton Hampton, L. M., et al. (2022). *Micro Nano plastics*, *2*(1), 13,
Boersma, A., et al. (2023). Polymers (Basel), 15(9)
Jenner, L. C., et al. (2022). *Sci Total Environ.*, *831*, 154907
Zhu, L., et al. (2024). Sci Total Environ., 915, 170004
Amato-Lourenço, L. F., et al. (2021). *J Hazard Mater*, *416*, 126124
Özgen Alpaydin, A., et al. (2024). Environ Pollut, 363(Pt 1), 125054
Huang, S., et al. (2022). *Environ Sci Technol.*, *56*(4), 2476-2486
Li, X., et al. (2022). Ecotoxicol Environ Saf, 232, 113238;
Lim, D., et al. (2021). Chemosphere, 262, 128330;
Han, Y., et al. (2022). *Toxicol Res.*, *38*(1), 111-111