

Microplastics zijn overal: reductie met 70% haalbaar

Autobanden, verpakkingen en landbouwfolie zijn in Nederland de grootste bronnen van microplastics

Auteurs

Jan Harm Urbanus
Andrea Brunner, Arjen Boersma,
Sieger Henke, Ingeborg Kooter,
Sietske Lenssen, Luke Parker,
Anna Schwarz, Pieter Imhof,
Ardi Dortmans, Marinke Wijngaard

TNO innovation
for life



Microplastics zijn overal: reductie met 70% haalbaar

Microplastics zijn inmiddels overal te vinden en in groeiende hoeveelheden aanwezig in het milieu. Slijtage van banden, zwerfafval (verpakkingen) en gebruik van landbouwfolie zijn voor Nederland de voornaamste bronnen van microplastics.

Deze publicatie laat zien dat door een combinatie van mitigatiestrategieën een reductie van 70% microplastics haalbaar is in 2050 en 37% in 2030, zelfs bij toenemend gebruik van plastics. Hierbij is grensoverschrijdende samenwerking noodzakelijk. Vanwege de potentiële schade door microplastics is het essentieel om deze reductie te realiseren.

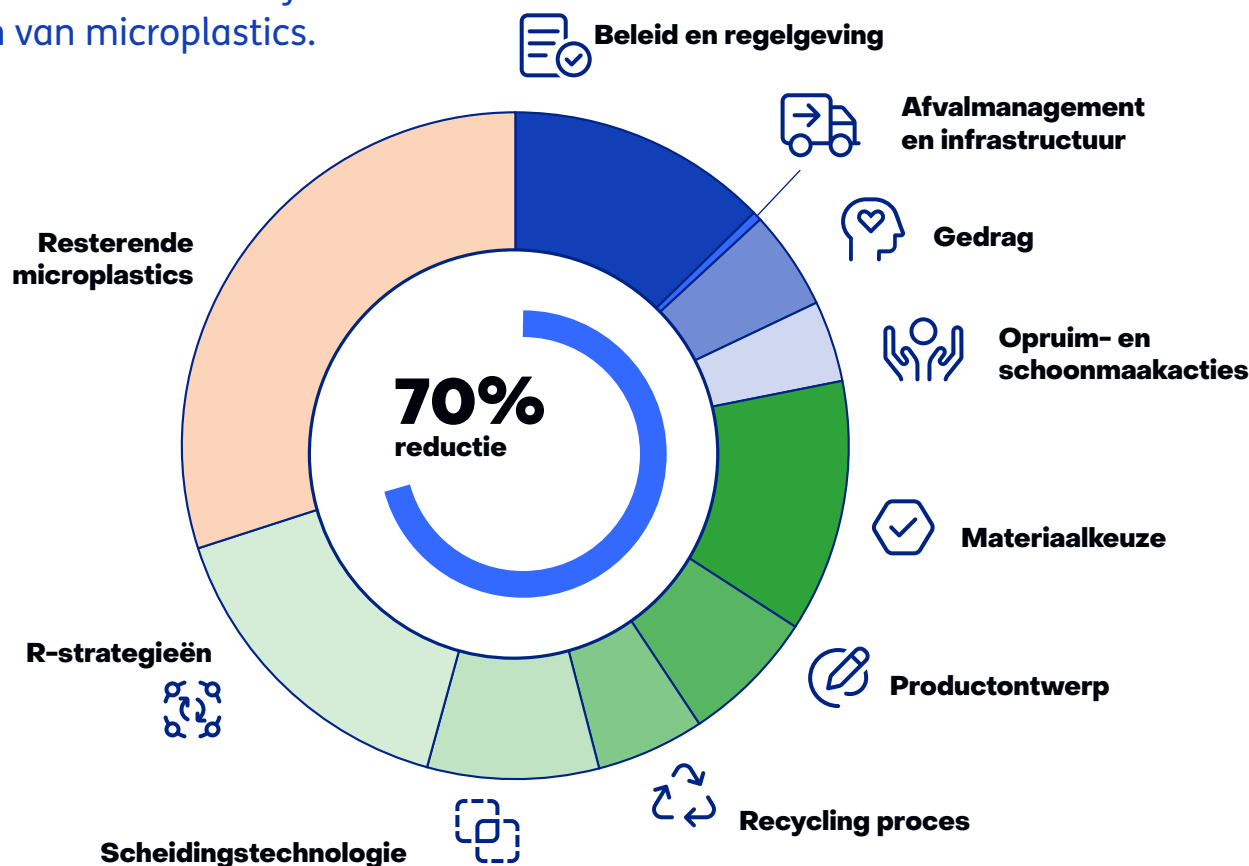
Om tot deze reductie te komen zijn onder andere de volgende maatregelen nodig: uitbreiding van statiegeld, concretisering en uitrol van R-strategieën, stimuleren van opruimen van zwerfafval, versnellen van materiaalinnovaties en onderzoek naar verbeterde recyclingtechnologie.

Jan Harm Urbanus

Andrea Brunner, Arjen Boersma, Sieger Henke, Ingeborg Kooter, Sietske Lenssen, Luke Parker, Anna Schwarz, Pieter Imhof, Ardi Dortmans, Marinke Wijngaard

**Microplastics zijn
potentieel schadelijk
voor mens en milieu**

Het zogeheten voorzorgsprincipe, gehanteerd door de Nederlandse overheid, schrijft minimalisatie van vorming en verspreiding van microplastics voor.



Samenvatting

Microplastics zijn door mensen veroorzaakt (antropogeen), hardnekkig, overal aanwezig en potentieel schadelijk. Volgens het voorzorgsprincipe moeten we blootstelling eraan minimaliseren.

Probleem

Autobanden, verpakkingen en landbouwfolie zijn in Nederland de grootste veroorzakers van microplastics. Het microplastics probleem neemt richting 2050 alleen maar toe.

Oplossingen

Tot 70% van dit probleem is oplosbaar mits overheid, bedrijfsleven en consument tijdig maatregelen nemen om wetgeving tot stand te brengen, innovatieve materialen en technologie te ontwikkelen en de consumptie van plastics te verminderen.

Schaduwzijde van plastic

Plastics dragen bij aan een duurzame samenleving (zie TNO publicatie “Verspil het niet!” uit 2020), maar kennen ook nog niet opgeloste schaduwzijden, waaronder microplastics. Deze vaste deeltjes, kleiner dan 5 millimeter, worden doelbewust toegepast in producten, ontstaan door slijtage tijdens gebruik en worden gevormd door degradatie van plastic afval aanwezig in het milieu.

Nagenoeg persistent

Microplastics komen voort uit antropogene plastics, zijn nagenoeg persistent (hardnekkig), worden wereldwijd in toenemende mate in het milieu gevonden en recent is aangetoond dat ze zelfs in ons lichaam terecht komen. Helaas is er onvoldoende informatie over de blootstelling aan en het effect van microplastics op de mens om weloverwogen risicobeoordelingen te kunnen uitvoeren. Daarom past de Nederlandse overheid het voorzorgsprincipe toe. Dit betekent dat gebruik, vorming en verspreiding van microplastics moeten worden geminimaliseerd. De Nederlandse aanpak is daarmee in lijn met de EU-strategie.

Systemisch inzicht

Mitigatie van het microplastics probleem vereist systemisch inzicht in de gehele levenscyclus van plastics: productie, gebruik en einde levensfase. Omdat dit inzicht tot op heden ontbrak, heeft TNO op basis van gevalideerde databases en wetenschappelijke publicaties, een model ontworpen dat berekent welke sectoren de grootste bijdragen leveren aan de vorming van microplastics en in welke milieucor-

partimenten deze vervolgens terechtkomen. Het microplasticsmodel toont aan dat de sectoren verpakkingen, automotive en landbouw in Nederland voor de grootste bijdragen zorgen.

Mitigatiestrategieën

Uiteenlopende mitigatiestrategieën, in ontwikkeling of al gedeeltelijk in uitvoering, kunnen bijdragen aan de oplossing: beleid, materiaalkeuze, productontwerp, recycling- en scheidingstechnologie, gedrag, afvalmanagement en schoonmaakacties. TNO heeft de effectiviteit (mate van reductie) van zeventien mitigatiestrategieën doorgerekend met het microplastics model en concludeert dat Nederland veel baat heeft bij de uitrol van de R-strategieën: Refuse, Rethink, Reduce en de daarbij behorende technologische, marketing en gedragsconcepten. Ook het verbod op Single-Use-Plastics (SUPs) en de uitbreiding van statiegeld en verwijderingsbijdragen om wegwerpgedrag van consumenten positief te beïnvloeden dragen flink bij. Dat geldt ook voor het gebruik van innovatieve materialen die de vorming van microplastics uit autobanden en verpakkingen

reduceren. Door toepassing van deze mitigatiestrategieën is een reductie van 70% microplastics in 2050 mogelijk (37% in 2030), ook in een scenario waarin de consumptie van plastics toeneemt.

Maatschappelijk draagvlak

Maatschappelijk draagvlak is nodig om deze missie tot een goed einde te brengen. We hebben een kwalitatieve analyse van het Nederlandse handelingsperspectief uitgevoerd aan de hand van de kosten/baten per mitigatiestrategie en de tijd die nodig is voor realisatie ervan. Meest kosteneffectief zijn dan het verder uitrollen van het statiegeld principe, het uitvoeren van de R-strategieën Refuse, Rethink, Reduce, het versnellen van materiaalinnovaties en van onderzoek naar verbeterde recyclingtechnologie. Voor andere mitigaties is de verdere ontwikkeling van beleid en businessmodellen van belang. Het is essentieel dat de Nederlandse overheid een coördinerende rol speelt om deze mitigatiestrategieën samen met alle stakeholders te ontwikkelen en te realiseren.

Inhoud

Hoofdstuk 1 [p.5](#)

Microplastics: minimalisatie van emissie naar milieu en mens

Hoofdstuk 2 [p.6](#)

Systemisch inzicht nodig over de hele keten om effectiviteit maatregelen te beoordelen

Hoofdstuk 3 [p.9](#)

Grootste bronnen microplastics: autobanden, verpakkingen en landbouwfolie

Hoofdstuk 4 [p.10](#)

Wachten met mitigeren leidt tot ongewenste ophoping van microplastics in het milieu

Hoofdstuk 5 [p.12](#)

Wat kunnen we concreet doen?

Hoofdstuk 6 [p.19](#)

Hoe effectief zijn de opties?

Hoofdstuk 7 [p.22](#)

Wat is het handelingsperspectief?

Hoofdstuk 8 [p.23](#)

Wat kost dit handelingsperspectief?
En wat zijn de juiste prioriteiten?

Hoofdstuk 9 [p.25](#)

Lonkend perspectief

Verwijzingen [p.26](#)

Microplastics: minimalisatie van emissie naar milieu en mens

Verspil het niet

Plastic heeft aantoonbaar toegevoegde waarde voor de samenleving (zie TNO publicatie “Verspil het niet!” uit 2020)¹. Minder gewicht levert brandstofbesparingen op in transport. Verpakkingen verlengen de houdbaarheid van levensmiddelen. In textiel verlaagt het gebruik van plastics het waterverbruik dat anders nodig is voor de katoenteelt. Resistentie tegen rot en roest vermindert afval in de bouw. De keerzijde is dat tijdens productie, gebruik, recycling en aan het einde van de levensfase van plastics microplastics vrijkomen. Dit zijn vaste plastic deeltjes, kleiner dan vijf millimeter, in allerlei vormen en afmetingen².

We maken onderscheid tussen primaire en secundaire microplastics. Primaire microplastics worden vanwege hun functionaliteit bewust toegevoegd aan producten als cosmetica (tandpasta, scrubs, glitter), (industriële) schoonmaakmiddelen, zaden, verf en coatings. Secundaire microplastics zijn niet-intentioneel en ontstaan door slijtage (van kleding en banden), degradatie (tijdens recycling) of veroudering van plastics. Zo kan zwerfafval in berm, op stranden en in oceanen onder invloed van

zonlicht (UV), wrijving, temperatuurschommelingen en in aanwezigheid van chemicaliën (waaronder zout) en micro-organismen fragmenteren tot microplastics.

Ethisch perspectief

Uit diverse onderzoeken blijkt dat microplastics niet alleen overal in het milieu te vinden zijn, maar ook in de longen³ en het bloed⁴ van mensen. Het risico voor de gezondheid van de mens is nog grotendeels onbekend, zoals SAPEA⁵ (Scientific Advice for Policy by European Academies, 2019) en WHO⁶ (World Health Organization, 2022) concludeerden na een uitgebreide wetenschappelijke literatuurreview. Alleen al vanuit ethisch perspectief is de aantasting van de integriteit van het milieu en het menselijk lichaam door microplastics onaanvaardbaar, bewezen risico of niet. Bovendien schrijft de Rio-verklaring uit 1992 over milieu en ontwikkeling⁷ voor dat, vanwege het feit dat plastic een door mensen voortgebracht product is en nagenoeg persistent, het voorzorgsprincipe moet worden toegepast⁸. Hierdoor zijn ook onbekende toekomstige problemen te voorkomen. Er is actie nodig gericht op minimalisatie van blootstelling aan microplastics.

Omdat het risico van microplastics onbekend is moet het voorzorgsprincipe worden toegepast.

Verhoogt risicoprofiel

De verwachte verviervoudiging van het gebruik van plastics in 2050⁹ leidt vanzelf tot een hoger risicoprofiel. Daarom adviseerde het SAPEA om blootstelling aan microplastics te mitigeren. De Europese Commissie heeft vervolgens in opvolging op de “EU Strategy for Plastics in the Circular Economy”¹⁰ een nieuw Circular Economy Action Plan¹¹ gelanceerd met daarin concrete aandachtspunten op gebied van wet- en regelgeving om emissies van niet-intentionele microplastics naar milieu en mens te reduceren. De ambitie is 30% vermindering in 2030. Tegelijkertijd is het Europees Agentschap voor Chemische stoffen (ECHA) gevraagd wetgeving voor te stellen die het gebruik van intentionele (primaire) microplastics inperkt¹². Nederland volgt het voorzorgsprincipe en heeft de Europese ambitie omarmd. Bovendien steunt ons land additionele Europese wet-

en regelgeving om vorming en verspreiding van microplastics te minimaliseren¹³. In deze publicatie schetsen wij het Nederlandse handelingsperspectief om microplastics sterk te mitigeren.

Microplastics zijn vaste plastic deeltjes, kleiner dan vijf millimeter, in allerlei vormen en afmetingen.

Systemisch inzicht nodig over de hele keten om effectiviteit maatregelen te beoordelen

TNO's microplastics model

De uitgesproken ambitie en voorstellen zijn eerste stappen op weg naar een allesomvattend pakket van wetgeving, maatregelen, technologie en economische prikkels om blootstelling aan microplastics te mitigeren. Het ontbreekt alleen aan een systematisch overzicht van waaruit we interventies kunnen opzetten. Daardoor ontwikkelen we wellicht de verkeerde strategieën en verliezen we tijd en geld. Daarom heeft TNO een model ontwikkeld¹⁴ dat de blootstelling aan microplastics systematisch beschrijft. Het biedt concrete handvatten voor het evalueren van de effectiviteit van huidige en toekomstige maatregelen.

TNO's microplastics model beschrijft de blootstelling aan microplastics op systematische wijze, geeft inzicht in de ordegrrootte van de problematiek en maakt evaluatie van de effectiviteit van huidige en toekomstige maatregelen mogelijk.

Material Flow Analysis

Het model maakt gebruik van een zogeheten cumulatief Material Flow Analysis (MFA) framework dat de verschillende stappen in de plastics waardeketen beschrijft. Het model splitst de waardeketen op in tien sectoren en de acht meest voorkomende typen polymeer.

We hebben gebruik gemaakt van beschikbare data (op massa basis) per land over plastics productie (zie Figuur 2, pagina 8), consumptie (inclusief levensduur), inzameling van plastic afval en afvalverwerking (storten, recyclen en verbranden).

Aan dit raamwerk zijn gegevens toegevoegd over de vorming van (secundaire) microplastics op verschillende plekken in de waardeketen, evenals informatie over de verdeling van deze microplastics over milieucompartimenten (bodem, water, lucht en organismen).

Deze informatie is experimenteel en theoretisch van aard en gebaseerd op wetenschappelijke literatuur (>50 publicaties).

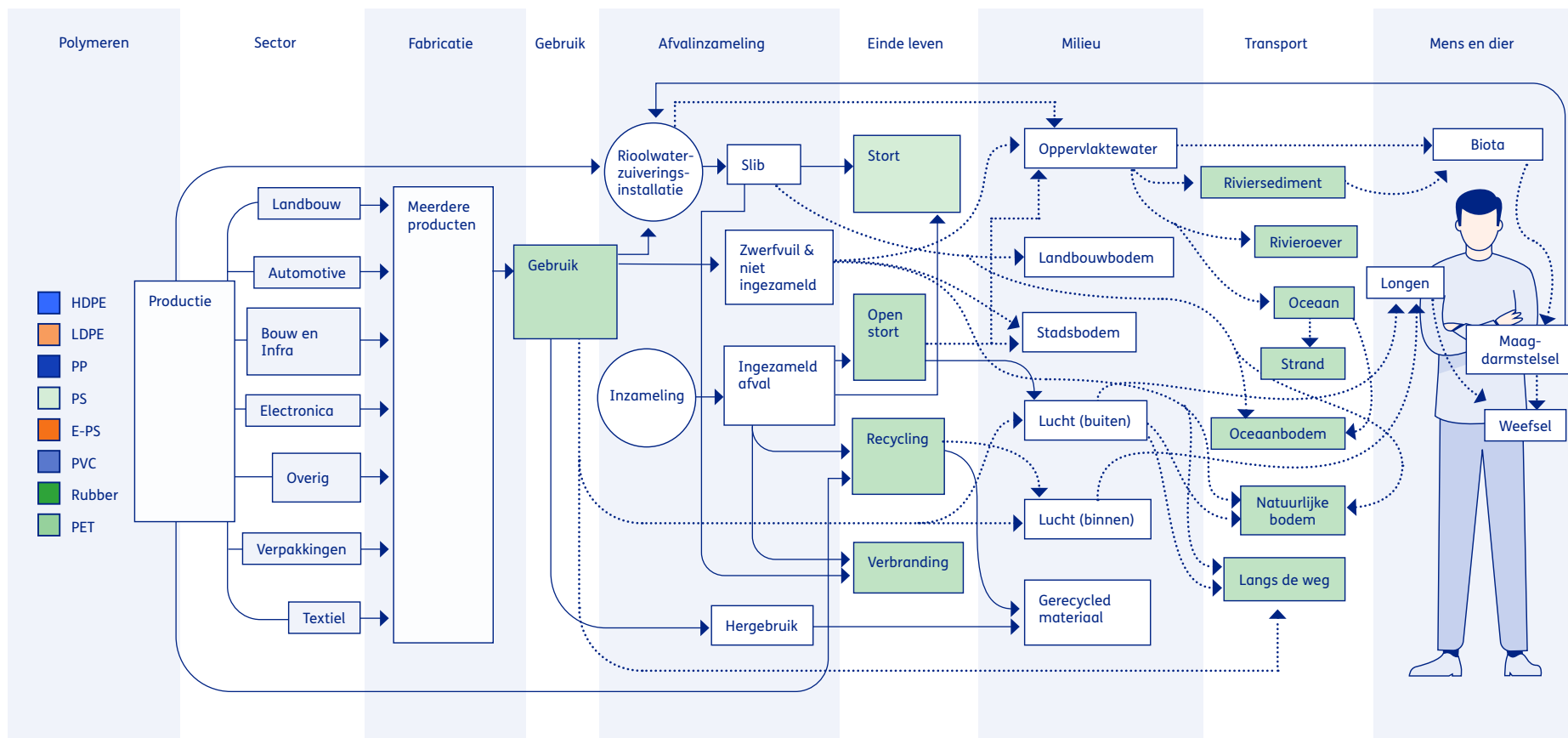
Een standaard MFA zoals getoond in Figuur 1 op pagina 7 beschrijft in principe een dwarsdoorsnede voor één jaar. Plastics worden al sinds 1951 op grote schaal geproduceerd, gebruikt en weggegooid met de onvermijdelijke vorming van microplastics als gevolg. Bovendien duurt het lang voordat plastics die in het milieu liggen volledig degraderen¹⁵ en daarmee dus géén bron van secundaire microplastics meer zijn.

Material Flow Analysis-model (MFA)

Consumptie van plastics per jaar

Routes van (micro)plastics

Mens en milieu



Figuur 1. Versimpelde weergave van het Material Flow Analysis-model (MFA). Figuur 1 geeft illustratief weer hoe een standaard MFA werkt: aan de linkerkant van de figuur staat de jaarlijkse consumptie van plastics (zie Figuur 2, pagina 8), in het midden de routes waarlangs de (micro)plastics 'reizen' en rechts de plekken in mens en milieu waar microplastics terechtkomen. Bron: TNO.

Microplastics hopen zich door de jaren heen voortdurend op in de verschillende milieucompartmenten

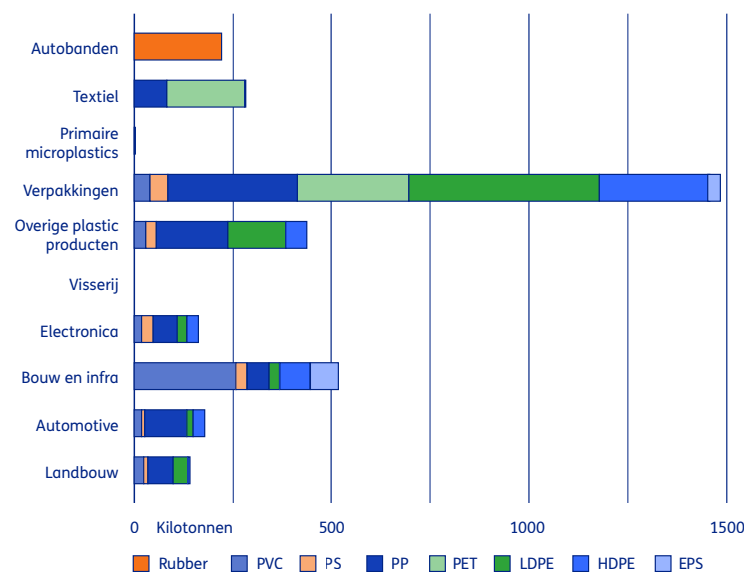
Microplastics hopen zich door de jaren heen voortdurend op in de verschillende milieucompartmenten. Om deze legacy realiteit in het model te vatten is het MFA-model cumulatief gemaakt, met als startpunt 1951 (op basis van historische data en een gemiddelde groei van 4% op jaarbasis).

Het MFA-model van TNO bevat niet alleen data voor de Nederlandse context, maar voor de gehele wereld. Ze zijn afkomstig uit allerlei Europese en internationale databases^{16,17,18} en waar nodig aangevuld met schattingen op basis van vergelijkbare landen, volgens de onderverdeling in vier inkomensklassen.

De geconsolideerde data over de jaarlijkse vorming van microplastics en in welke milieucompartmenten ze terecht komen zijn weergegeven in Figuur 3 hiernaast en Figuur 4 (pagina 9).

Plastics

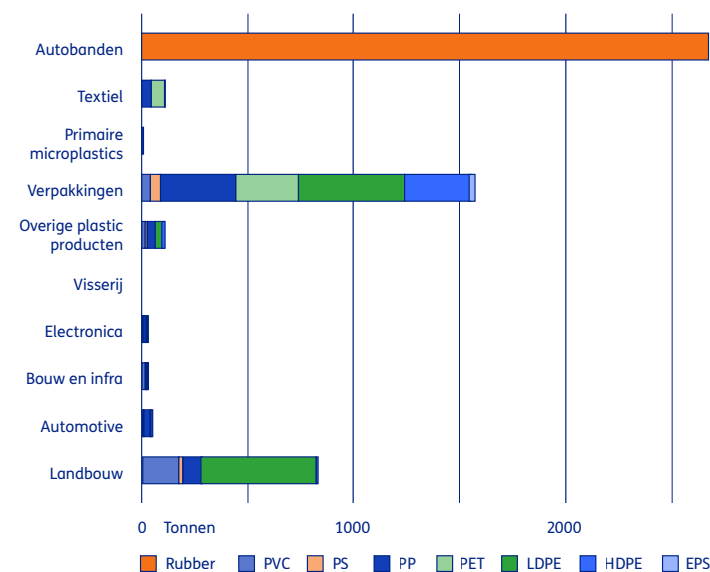
Plastic consumptie (productie) in Nederland, per polymeer



Figuur 2. Nederlandse consumptie van plastics per type polymeer (8), voor 10 sectoren. Bron: TNO.

Microplastics

Microplastics vorming per sector en polymeer type (NL)



Figuur 3. Jaarlijkse microplastics vorming per type polymeer (8), voor 10 sectoren. Bron: TNO.

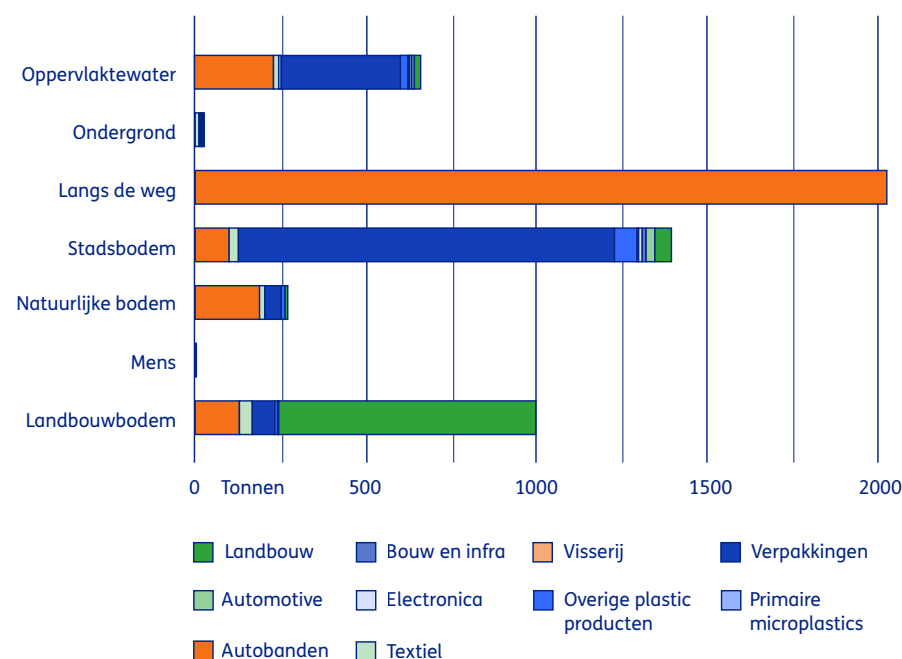
Grootste bronnen microplastics: autobanden, verpakkingen en landbouwfolie

Resultaten uit het model

Uit het model blijkt dat rubberbanden de grootste bron zijn van de jaarlijkse microplastics emissies in Nederland, terwijl rubber slechts 6% van de totale plastic consumptie is (zie Figuur 2: 218 kiloton rubber versus 3.400 kiloton plastics). Dit komt door de grote mate van slijtage tijdens gebruik (10-20% gedurende de levensduur¹⁹). De rubber microplastics belanden met name in de berm en blijven daar liggen. Anders dan bij de meeste plastics is er wel degradatie van rubber; er zijn indicaties dat jaarlijks zo'n 40% volledig wordt afgebroken^{20,21}, al is vervolgonderzoek nodig om dit verder te duiden²². De effecten van deze degradatie zijn alleen in het cumulatieve model waar te nemen.

Andere sectoren met een significante bijdrage aan de jaarlijkse emissie van microplastics zijn de landbouw en de verpakingsindustrie. Deze microplastics komen grotendeels in de bodem terecht door aan eind van het gebruik plastics verkeerd af te voeren. Zo worden bepaalde plastic producten niet opgeruimd maar achtergelaten in het milieu en vormen daar via degradatie microplastics. Voor textiel geldt dat microplastics ontstaan door slijtage tijdens gebruik. Ze komen in de lucht terecht of in het riool. Wat verder opvalt is dat de ophoping van microplastics in (oppervlakte)water een ordegrootte kleiner is dan de ophoping in de bodem.

Microplastics & Milieucompartimenten (NL)



Figuur 4. Milieucompartimenten (7) waar microplastics terechtkomen, onderscheid per sector (10).
Bron: TNO.

Wachten met mitigeren leidt tot ongewenste ophoping van microplastics in het milieu

Met het cumulatieve MFA-model is het mogelijk om projecties richting 2030 en 2050 te maken van de hoeveelheid microplastics die ophoopt in de diverse milieucompartimenten.

Om inzicht te krijgen in de omvang van het probleem én de oplossingsruimte zijn twee scenario's doorgerekend: "Maximaal (MAX)" en "Productiestop (STOP)".

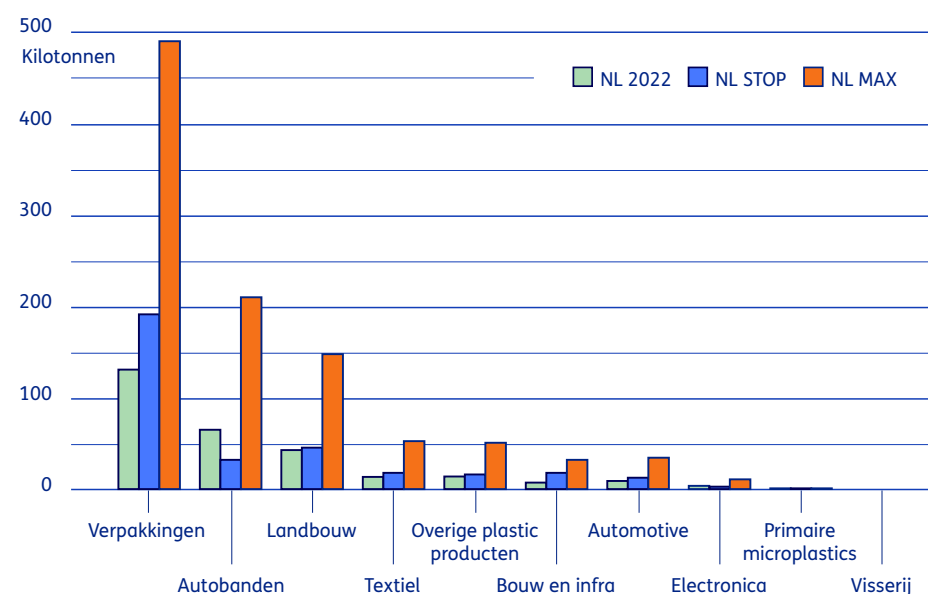
In het scenario MAX gaan we uit van een min of meer gelijkblijvende groei van de consumptie van plastics (4% per jaar) en de navenante emissie van microplastics. Dit is in overeenstemming met de projecties van de plasticindustrie die een groei van een factor 3 tot 4 voorspellen richting 2050²³. Verder zijn we er voor dit scenario vanuit gegaan dat de huidige plastics in gebruik blijven, dat consumptie en gedrag aan het einde van de levensduur niet verandert en dat de huidige verdeling van plastic afval over storten, recycleren en verbranden niet significant wijzigt.

In het scenario STOP is de productie van nieuwe én gerecycleerde plastics beëindigd per 2022. Voor enkele sectoren betekent dit dat het gebruik van plastics ook vrijwel direct stopt, zoals verpakkingen en cosmetica. Voor andere sectoren (banden, automotive, bouw, infra) geldt dat de plastics nog lang in omloop blijven en daarmee microplastics blijven voortbrengen.

In beide scenario's komen de additionele emissies bovenop de vorming van (secundaire) microplastics door degradatie van plastics die nu al in het milieu liggen en daar al sinds geruime tijd zijn blootgesteld aan de elementen.

Figuur 5 beschrijft de cumulatieve microplastics emissies (ton) per sector voor Nederland. De groene kolommen representeren de huidige opeenhoping (dus van 1951 tot 2022). Ter illustratie: er ligt momenteel zo'n 130 kiloton microplastics uit verpakkingen in Nederlandse bermen, op akkers, stortplaatsen en meer.

Ophoping van microplastics in Nederland, per sector (2050)



Figuur 5. Ophoping van microplastics in Nederland, per sector, in 2050. De oranje kolommen staan voor het "Maximaal (MAX)" scenario, de blauwe kolommen voor "Productiestop (STOP)". De groene kolommen geven de ophoping per sector tot en met 2022 aan. Bron: TNO.

Er ligt zo'n 130 kiloton microplastics uit verpakkingen in Nederlands milieu

De oranje kolommen komen overeen met het hierboven beschreven MAX-scenario. Dit is dus de hoeveelheid microplastics die volgens dit scenario per sector nog in het milieu terecht komt tot 2050. Voor verpakkingen betekent dit een toevoeging van bijna 350 kiloton aan wat er zich nu al in het milieu bevindt. Ook autobanden en de landbouwsector dragen significant bij in het MAX-scenario.

De blauwe kolommen komen overeen met het STOP-scenario. Dit is de hoeveelheid microplastics die de komende 30 jaar alsnog wordt geëmitteerd, ondanks dat de productie is stilgelegd. Voor verpakkingen geldt bijvoorbeeld dat er zo'n 60 kiloton microplastics bij komt, met name door degradatie van al in het milieu aanwezige producten.

Het STOP-scenario is maatschappelijk onaanvaardbaar omdat er geen goede duurzame alternatieven voor plastics zijn (zie TNO publicatie "Verspil het niet!" uit 2020²⁴). Ter illustratie, in de eerder genoemde transportsector zou een auto zonder plastic technisch onmogelijk zijn en ook nog eens flink zwaarder. Dit leidt dan tot extra brandstofverbruik, CO₂ en

fijnstof. Figuur 5 (zie pagina 10) toont aan dat er, zelfs in het vanuit oogpunt van duurzaamheid onwenselijke STOP-scenario, nog steeds sprake is van een significante opeenhoping van microplastics in het milieu. STOP is dus niet realistisch, maar MAX ook niet: de werkelijke situatie in 2050 zal ergens tussen deze twee extremen liggen. Gelet op de huidige ambities en ontwikkelingen op gebied van beleid en gedrag zal dat eerder dichterbij MAX zijn dan bij STOP.

We kunnen het ons als maatschappij dus niet veroorloven om niet in te grijpen.

Acties om blootstelling aan microplastics te minimaliseren zijn hoognodig.

Wat kunnen we concreet doen?

Maximale inzet van de 17 mitigatiestrategieën leidt tot een maximale reductie van 70% microplastics in 2050.

In de “EU Strategy for Plastics in the Circular Economy”²⁵ maar ook in populaire en wetenschappelijke literatuur zijn diverse mitigaties voorgesteld. Ze zijn te groeperen in negen categorieën (zie Tabel 1). De beoogde acties dienen in de context van hun functie te worden gezien. Een microplastics oplossing voor autobanden die leidt tot gebrekkige grip op de weg, of bij verpakkingen minder bescherming, is niet realistisch.

Hierna geven we zeventien voorbeelden van realistische en mogelijk effectieve mitigatiestrategieën, onderverdeeld over de negen categorieën.

De mitigatiestrategieën zijn in blauw beschreven met de aanname in bold daarachter.

Het TNO-model verschaft systemisch inzicht voor de evaluatie van deze mitigaties en ook voor de ontwikkeling van nieuwe strategieën. Figuur 8 (zie pagina 19) geeft de effectiviteit van de zeventien strategieën weer. Samen zijn ze goed voor een reductie van circa 70% van het microplastics probleem in 2050, ten opzichte van het MAX-scenario.

Tabel 1. Negen verschillende microplastics mitigatiecategorieën, inclusief korte beschrijving van de zeventien strategieën. Ze worden hieronder toegelicht.

	Categorie	Mitigatiestrategie	Toelichting
	Beleid en regelgeving	MS1	Verbod op intentionele microplastics
		MS2	Restrictie op Single-Use Plastics
	Afvalmanagement infrastructuur	MS3	Upgrade waterzuiveringssysteem
	Gedrag	MS4	Bredere uitrol statiegeld
	Schoonmaak en opruimacties	MS5	Opruimen zwerfafval in berm, park, bos
		MS6	“Ocean clean-up”
		MS7	Extractie plastic uit stortplaatsen
	Materiaalkeuze	MS8	Materialen/grades met betere MPI
	Productontwerp	MS9	Betere verpakkingsconcepten
		MS10	Verbeterde autoband (minder slijtage)
	Recyclingproces	MS11	Precisie-recycling technologie
	Scheidingstechnologie	MS12	Implementatie filter wasmachine
		MS13	Toepassing verbeterd luchtfilter
		MS14	Recuperatie landbouwfolie
		MS15	Rubbercollectie langs de weg en sportveld
		MS16	Afgangssysteem autoband
	R-strategieën	MS17	R-strategieën refuse & reduce

Mitigatiestrategieën

Beleid en regelgeving

In 2019 heeft het ECHA (Europees agentschap voor chemische stoffen) een restrictievoorstel ingediend²⁶ op het intentioneel toevoegen van microplastics aan producten. Het gaat hier vooral om cosmetica en beoogt de blootstelling aan en emissie van primaire microplastics naar het milieu te verminderen. Verder gelden er vanaf 2021 nieuwe Europese regels voor de zogenaamde Single-Use Plastics (SUPS, wegwerpartikelen van plastic). Zo zijn bepaalde producten verboden zoals plastic bestek en rietjes). In Nederland is de statiegeldverplichting uitgebreid naar kleine flesjes en zijn richtlijnen voor verplicht gebruik van gerecycled plastics opgenomen (vanaf 2025). Vergelijkbare regels voor SUPs zijn in diverse landen wereldwijd ingevoerd, met wisselend succes (33-96%²⁷).

MS1

Toepassing van Europese restricties op primaire microplastics in cosmetica. **Volledig verbod op gebruik.**

MS2

Toepassing van diverse restricties op het gebruik van Single-Use Plastics. **20% reductie verpakkingsplastics.**

Afvalmanagement infrastructuur

In Nederland is door een combinatie van beleid en regelgeving een adequaat afvalmanagementsysteem actief, gefinancierd door industrie (Uitgebreide Producenten Verantwoordelijkheid schema's) en burgers (afvalheffingen). Hierdoor worden nog maar enkele procenten van het plastic afval gestort. Het merendeel wordt verbrand (met energierugwinning) en een significant deel (~30%) wordt gerecycled. Voor Nederland ligt de winst niet zozeer bij verbetering van het afvalmanagement, maar meer in faciliteiten om rioolwater te behandelen. Door de aanwezigheid van zware metalen is het al een tijd grotendeels verboden om rioolslib als meststof te gebruiken. Het slib dient te worden verbrand²⁸. Bijkomend voordeel hiervan is dat de microplastics in het slib van de waterzuiveringsinstallaties op deze manier niet op het land terechtkomen, maar worden vernietigd. Wel blijven er nog steeds microplastics in het water achter die vervolgens in oppervlaktewater en uiteindelijk in zee terechtkomen. Daarom is het belangrijk innovatieve concepten te ontwikkelen die de concentratie van microplastics in rioolwater verder verminderen.

Brede uitrol van statiegeldprincipe resulteert in veel minder zwerfafval.

Een voorbeeld van een dergelijke ontwikkeling is het bedrijf "Wasser 3.0" dat op een milieuvriendelijke manier microplastics afvangt door microplastics te agglomereren, na de standaard waterbehandeling²⁹.

MS3

Upgrade van faciliteiten voor verwijdering microplastics uit rioolwater door toepassing van innovatieve concepten. **90% reductie microplastics in gezuiverd rioolwater.**

Gedrag

Ondanks alle maatregelen en infrastructuur ontstaat in ons land nog steeds een significante hoeveelheid zwerfafval. Op jaarbasis gaat het om circa 15 kiloton, wat overeenkomt met ruim 1.300 zeecontainers gevuld met plastic afval. Dit komt met name door het oneigenlijk gebruik van zogenaamde wegwerpartikelen. Het verbieden van de Single-Use Plastics lost dit probleem slechts voor een deel op. Statiegeld daarentegen creëert een prikkel voor burgers om actief bij te dragen aan het verminderen van zwerfafval. De recente invoering van statiegeld voor kleine plastic flessen liet vrijwel direct een daling van maar liefst 70% van deze flessen in het zwerfvuil zien³⁰. Met de komst van slimme digitale markers zal het technisch makkelijker worden om het statiegeldprincipe breder uit te rollen voor producten die momenteel nog in het zwerfafval voorkomen, zoals PET-trays of snoepverpakkingen.

MS4

Uitrol van statiegeld voor plastic (voedsel) verpakkingen. **95% reductie in zwerfafval mogelijk bij voldoende hoog statiegeldbedrag.**

Mitigatiestrategieën

Een alternatief voor statiegeld is het lokaal inzamelen van plastic tegen een geringe vergoeding per gewicht, net als vroeger kinderen, scholen of sportverenigingen oud papier inzamelden. Naast het stimuleren van gewenst gedrag door beloningen zoals statiegeld, kan voorlichting een grote rol spelen te leren goed om te gaan met wegwerpartikelen. Verder kunnen overheden en bedrijven burgers stimuleren door zelf het goede voorbeeld te geven.

Zo kan de overheid door duurzaam inkoopbeleid keuzes maken voor producten die minder microplastics voortbrengen (zie “productontwerp”). Zo zijn er retailers die hun klanten aanmoedigen zelf met bakjes te komen om daarin bepaalde producten af te vullen. Zulke initiatieven resulteren in minder verpakkingsafval en verminderen de kans op zwerfafval. Dit laatste valt onder de R-strategie R1 “refuse & rethink” en is meegenomen in MS17 (toepassing van R-strategieën R1 en R2).

Schoonmaak- en opruimacties

Overheden, bedrijven, burgers en ngo’s zijn actief in het opstarten en ondersteunen van allerlei initiatieven om zwerfafval op te ruimen. Zo kunnen bedrijven aanhaken bij “Operation Cleansweep”, die hen ondersteunt om emissies van plastic korrels (nurdles) naar buiten te vermijden. De Plastic Soup Foundation heeft de World Cleanup Day. In Nederland is er NLSchoon dat scholen, verenigingen, bedrijven en gemeentes verleidt om uitjes te combineren met opruimactiviteiten. Er zijn lokale initiatieven zoals Schone Helden en steeds meer zie je mensen in de buurt wat plastic afval uit het park of het bos meenemen en het in de daarvoor bestemde container gooien. Als deze trend doorzet, kan het Nederlandse zwerfafval sterk afnemen.

MS5

Stimulans voor opruimacties van zwerfafval in bermen, parken, bossen; bovenop de uitbreiding van statiegeld (MS4). Reductie van 90% van het overgebleven zwerfafval.

Wereldwijd overtreft het plastic afval op stortplaatsen de hoeveelheid in oceanen.

Het opruimen van stedelijke gebieden is ook toepasbaar in andere landen, maar hoogstwaarschijnlijk zal de focus in landen met een lager welvaartsniveau eerder liggen op het opruimen van de plastic soep of op het leeghalen van stortplaatsen. Bekende voorvechters hiervan zijn bijvoorbeeld Boyan Slat en Merijn Tinga. Diverse technologische oplossingen passeren de revue, van sleepnetten³¹, tot bubbelgordijnen³² of het filteren van ballastwater in zeeschepen³³.

MS6

Toepassing van diverse clean-up concepten. 90% verwijdering van (drijvende) plastics op kustlijnen, stranden en in rivieren, zeeën en oceanen.

De hoeveelheid plastic afval die wereldwijd op stortplaatsen wordt gedumpt, is vele malen groter dan wat er in zeeën en oceanen ronddrijft. In ontwikkelingslanden worden waardevolle plastics zoals PET en HDPE momenteel al door de informele sector verzameld en verkocht aan recyclingbedrijven. Maar het merendeel van de plastics blijft achter. Er zijn inmiddels initiatieven in de opschalingsfase waarbij

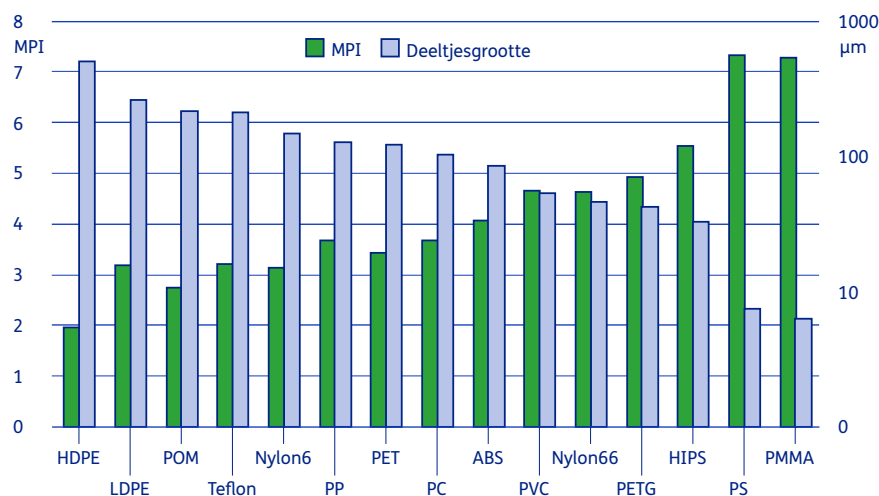
het plastic materiaal in nieuwe producten wordt verwerkt, zoals bij de productie van bakstenen³⁴, of asfalt³⁵. Voor verwerking van plastics uit zeeën, oceanen en stortplaatsen lijkt chemische recycling of verbranding het meest op zijn plaats, gelet op de vergaande degradatie van plastics in dergelijke milieucompartmenten. Hoewel in Nederland niet veel plastic afval meer wordt gestort, kan deze maatregel toch effect sorteren voor in het verleden gestorte plastics.

MS7

Extractie van plastics uit sanitaire stortplaatsen, gevolgd door verbranding. 90% efficiëntie, gelet op de achteruitgang van de kwaliteit van de plastics en de moeilijkheden die dat geeft bij het verwijderen van uit elkaar vallende plastics.

Mitigatiestrategieën

MicroPlastics Index (MPI) en gemiddelde deeltjesgrootte berekend voor 15 polymeren



Figuur 6. Berekende MicroPlastics Index (MPI, groen) en deeltjesgrootte (blauw) van virgin polymeren. We kunnen de vorming van microplastics uit textiel en verpakkingen dus reduceren door het gebruik van een polymeertype met een lagere MPI dat verder dezelfde eigenschappen aan het product geeft. Dit hoort dan in balans te zijn met de invloed die de keuze voor een ander(e) materiaal/grade mogelijk kan hebben op het productieproces (bijvoorbeeld verwerken bij een iets hogere temperatuur). Bron: TNO.

Materiaalkeuze voor textiel en verpakkingen

Secundaire microplastics ontstaan door degradatie. De mate waarin dat gebeurt hangt af van de mechanische eigenschappen van het polymeer. TNO heeft hiervoor een speciaal model ontwikkeld waarmee door een combinatie van materiaal parameters over sterkte, stijfheid en impact van een bepaald type polymeer te berekenen is hoeveel deeltjes er worden gevormd en van welke grootte³⁶. Dit drukken we uit in de MicroPlastics Index (MPI). Figuur 6 toont de MPI (blauw, linker y-as) voor de meest gebruikte polymeren. Een lage MPI (0-3, op een logaritmische schaal) geeft aan dat een polymeer taai is en er slechts weinig en relatief grote (> 200 micrometer) deeltjes worden gevormd. Een hoge MPI (> 5) geeft aan dat deze kunststoffen veel kleine deeltjes kunnen vormen. Figuur 6 laat zien dat materiaalkeuze van groot belang is bij het mitigeren van microplastics.

Het gaat hier om meer dan alleen het type polymeer als PET, PP, PE. Ook specifieke 'grades' van het polymeer (PET voor flessen, bakjes of textielvezels) zijn van belang. Deze grades zijn door het proces of met toevoegingen geoptimaliseerd voor de gewenste eigenschappen en toepas-

singen. Hierdoor kunnen ze een verschillende MPI hebben, waardoor de ene grade meer microplastics veroorzaakt dan de andere. Zo heeft vezel-PET kortere polymeer ketens dan flessen-PET, waardoor de deeltjesgrootte van de microplastics wel tien keer zo klein kan zijn. Wanneer bij het recyclingsproces de PET-ketens nog verder afbreken kan er een materiaal ontstaan dat weliswaar voor textiel is te gebruiken, maar eigenlijk zo ver is gedegradéerd dat er tijdens het gebruik veel microplastics van afkomen³⁷.

We kunnen de vorming van microplastics uit textiel en verpakkingen dus reduceren door het gebruik van een polymeertype met een lagere MPI dat verder dezelfde eigenschappen aan het product geeft. Dit hoort dan in balans te zijn met de invloed die de keuze voor een ander(e) materiaal/grade mogelijk kan hebben op het productieproces (bijvoorbeeld verwerken bij een iets hogere temperatuur).

MS8

Het gebruik van materialen/grades met een lagere MPI voor textiel en verpakkingen. **90% reductie van MP-vorming tijdens de gehele levensfase: productie, gebruik, einde levensduur.**

Mitigatiestrategieën

In theorie zijn biodegradeerbare plastic verpakkingen ook een efficiënte mitigatiestrategie. Tijdens de korte gebruiksfase blijven de verpakkingen namelijk intact, waarna de plastics snel verteerd worden door micro-organismen.

Dit in tegenstelling tot niet-biodegradeerbare verpakkingen die tientallen tot honderden jaren min of meer intact blijven³⁸. In de praktijk blijkt alleen dat biodegradeerbare plastics vaak opgebouwd zijn uit een mengsel van polymeren, waar een deel relatief snel afbreekt, maar het andere deel in feite niet-biodegradeerbaar is³⁹. Het gebruik van zulke producten zal dus ook tot microplastics leiden, wellicht zelfs sneller dan 'normale' plastics, en is hier dus geen sprake van een milieuvoordeel. In het ideale geval dat er toch een biodegradeerbaar polymeer wordt ontwikkeld dat bruikbaar is voor alle verpakkingen en ook daadwerkelijk in alle milieucompartmenten degradeert, dan is de impact vergelijkbaar met het STOP-scenario voor verpakkingen in Figuur 5: een maximale reductie van 25%. Het is hierbij wel van belang om productgroepen te kiezen die niet leiden tot meer wegwerpgedrag. Omdat we door het STOP-scenario de ordegrrootte van het

effect al kennen, hebben we geen aparte mitigatiestrategie voor biodegradeerbare plastics doorgerekend.

Productontwerp voor verpakkingen en autobanden

De eigenschappen van het polymeer hebben invloed op de vorming van microplastics, maar we kunnen ook naar de formulering en het ontwerp van producten kijken. Zo is aangetoond dat microplastics kunnen vrijkomen bij simpele handelingen, zoals het openen van een plastic fles, het openscheuren van een verpakking of het afrollen van plakband⁴⁰. Door safe-by-design principes uit te breiden met specifieke eisen kunnen we verpakkingen zo ontwerpen dat er minder microplastics vrijkomen tijdens het gebruik. Of we herintroduceren schenktuiten in plaats van doppen, vervangen lijmlagen door sluitstrips, en zo verder.

MS9

Selectie van geschikte materialen en toepassing van relevante safe-by-design principes voor verpakkingen. **80% reductie van MP-vorming tijdens de productie en gebruiksfase.**

Verbetering van het product in de ontwerpfase is essentieel om het vrijkomen van microplastics tijdens gebruik effectief te reduceren.

Door in de formulering van het plastic product additieven toe te voegen of weg te laten kan de vorming van microplastics verminderen tijdens de gebruiksfase en aan het einde van de levensduur. Zo loopt er momenteel onderzoek⁴¹ naar het verbeteren van de formule van autobanden zodat ze minder slijten zonder dat de prestaties in het geding zijn. Het toenemend gebruik van zwaardere elektrische auto's hoort hierin meegenomen te worden. Mocht deze ontwikkeling slagen, dan zou dat de hoeveelheid microplastics die jaarlijks vrijkomen van banden (zie Figuur 3 op pagina 8) fors kunnen verminderen.

MS10

Gebruik van nieuwe banden met minder slijtage. **80% reductie van MP-vorming tijdens gehele levensfase.**

Het op druk houden van autobanden zorgt overigens ook voor minder slijtage⁴².

Procesontwerp voor recycling

Ambities en richtlijnen op gebied van recycling vragen extra aandacht. Momenteel doen zelfs de meest geavanceerde landen vooral aan plastic downcycling: plastic afval gebruiken als grondstof voor damwanden, bermplaatjes en dergelijke. Recycling van verpakkingsafval voor voedselverpakkingen is omwille van voedselveiligheid juridisch praktisch onmogelijk gemaakt. Door verbeteringen in ketenmanagement en kwaliteit van recyclaat zijn deze horden weg te nemen zodat het percentage recycling toeneemt.

De Microplastics Index kan bij ontwerp van producten meegenomen worden om impact op milieu te verminderen.

Recycling van plastics kan wel een grote impact hebben op de vorming van microplastics. Ten eerste wordt het plastic tijdens alle bewerkingsstappen (sorteren, malen, wassen, extrusie) aan mechanische belastingen blootgesteld, wat kan leiden tot slijtage, breuk of rek.

Mitigatiestrategieën

Tijdens het recyclingproces kunnen hierdoor microplastics ontstaan, die verloren gaan tijdens de was- of droog stappen. Ten tweede gaan de meeste recyclingprocessen gepaard met een afname van de eigenschappen van de plastics⁴³, waardoor de MPI toeneemt en er meer deeltjes kunnen worden gevormd tijdens de volgende productie-gebruik-recycling cyclus.

Bij een volledig circulaire aanpak wordt deze loop (cyclus) idealiter meermaals herhaald zonder negatieve impact op MPI. Maar er is nog weinig bekend over de impact daarvan op de toename van het risico op vorming van microplastics. Daarom heeft TNO een worst-case scenario experimenteel onderzocht⁴⁴. Polypropyleen (PP) is vijf keer gerecycled (extrusie-hakken-spuitsieten-malen-wassen-drogen) zonder bij iedere cyclus het polymeer weer te stabiliseren (door het toevoegen van additieven). Tijdens elke cyclus zijn eventuele verliezen opgevangen en geanalyseerd. Ook zijn mechanische eigenschappen van het plastic gemeten als input voor de MPI. Figuur 7 laat zien dat de MPI (rechter y-as) toeneemt bij elke volgende loop (x-as). Dit geeft aan dat er elke volgende stap meer (en kleinere) microplastics worden

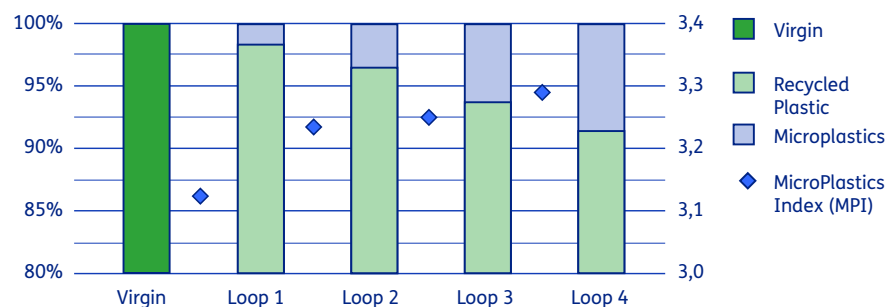
gevormd. Dat wordt bevestigd door de experimenteel gemeten massa van het gerecyclede plastic en de opgevangen deeltjes tijdens de loop (linker y-as). Door meermaals te recycelen worden de materiaalverliezen, in de vorm van microplastics, dus iedere cyclus groter.

Het is dus van groot belang om recyclingprocessen zodanig te ontwerpen dat de kwaliteit van plastics beter geborgd blijft, zodat er minder microplastics kunnen vrijkomen. TNO participeert in een recent gestart project dat is gericht op het terugdringen van dergelijke materiaalverliezen tijdens recycling⁴⁵. Een voorbeeld van de benodigde geavanceerde procestechnologie is een shredder waarbij er precies genoeg energie wordt gebruikt voor het verkleinen van plastic producten, zonder dat het surplus resulteert in de vorming van microplastics.

MS11

Toepassen van nog te ontwikkelen precisie-procestechnologie. 90% reductie van MP-vorming tijdens recycling.

Multiple-loop recycling experiment TNO



Figuur 7. MicroPlastics Index ♦ en massabalans (kolom) van multiple-loop experiment TNO met polypropyleen. Bron: TNO.

Scheidingstechnologie voor microplastics uit verpakkingen, autobanden, landbouwfolie en textiel

Wanneer emissies van microplastics niet te voorkomen zijn, moeten we zorgen dat ze zo weinig mogelijk schade toebrengen aan mens en milieu. Kortom, deze microplastics moeten we zo dicht mogelijk bij de bron afvangen (bronscheiding). Ook hier zijn diverse relevante initiatieven de moeite waard om de revue te laten passeren. Zo worden er momenteel filters voor was-

machines ontwikkeld, die ervoor moeten zorgen dat textielvezels niet langer in het riool terechtkomen⁴⁶. Ondanks de aanwezigheid van geavanceerde rioolwaterzuiveringsinstallaties verdwijnt nog steeds een beperkt gedeelte van deze vezels richting zeeën en oceanen. Dit geldt zeker voor de minder ontwikkelde landen.

MS12

Toepassing van speciale microplastics filters voor wasmachines. 80% reductie van de emissie van microplastics uit textiel naar het riool.

Mitigatiestrategieën

In dezelfde categorie vallen filters die de binnenlucht zuiveren met behulp van mechanische en elektrostatische filtratie. Deze systemen kunnen onderdeel zijn van een mechanische ventilatie of standalone opereren. Momenteel kunnen deeltjes zo klein als 0.1 mm worden verwijderd met 99% efficiëntie⁴⁷. Doorontwikkeling van deze technologie leidt tot zuivering van nog kleinere microplastics met ook een direct effect op deeltjes (<10micrometer) die voor de longen relevant zijn.

MS13

Implementatie van indoor luchtfilters.
90% reductie van emissies naar longen.

In de landbouwsector worden plastic folies na gebruik grotendeels verwijderd, maar afgescheurde stukken worden regelmatig onder de grond geploegd. Dit leidt tot een significante bijdrage aan de problematiek (zie Figuur 4 pagina 9). Nog te ontwikkelen technologie en een grote mate van zorgvuldigheid, in combinatie met materialen met een lagere MPI, kunnen dit probleem grotendeels verhelpen. Biodegradatie kan hier een positieve rol vervullen door toepassing van de juiste materialen en concepten.

MS14

Toepassing van betere technologie en gebruik van materialen/grades met een lagere MPI. **90% reductie van plastic folie dat de akkers wordt ingeplagd & 90% reductie van MP-vorming.**

Wanneer het technisch niet haalbaar blijkt om banden te ontwikkelen met minder slijtage (MS10) zijn alternatieven nodig voor deze grote bron van microplastics. In Nederland wordt al decennia zoab gebruikt op de snelwegen. 95% van de gevormde microplastics wordt in de poreuze structuur van dit product gevangen⁴⁸. Dit asfalt wordt geregeld schoongemaakt, waarna het afvalwater inclusief de microplastics wordt behandeld. Het is een effectieve manier om emissies naar het milieu te verlagen. Omdat zoab alleen op snelwegen wordt gebruikt, is hiermee ruwweg de helft van het probleem opgelost. De andere helft belandt nog steeds in de berm naast de weg. Doorontwikkeling en invoering van systemen⁴⁹ die het afvloeiende water zuiveren van microplastics zou zeer welkom zijn. Zulke systemen zijn ook toe te passen op kunstgrasvelden met (gerecycled) instrooi rubbergranulaat, om zo emissies naar het oppervlaktewater te verminderen.

MS15

Ontwikkeling en invoering van een systeem voor zuivering van het afvloeiende water voor wegen en sportvelden, zodat minder microplastics in het milieu terechtkomen. **90% reductie van emissies door zuiveringssysteem.**

Een recente innovatie is het afvangen van rubber microplastics bij de band zelf⁵⁰. Een prototype is in staat zo'n 60% van de deeltjes af te vangen. Dat is vergelijkbaar met het gebruik van zoab, maar vermoedelijk een stuk minder prijzig. De auto van de toekomst hoort een dergelijk afvangsysteem te hebben, in combinatie met banden die minder slijten (MS10).

MS16

Realisatie van een afvangsysteem voor rubber deeltjes op auto's, samen met de verbeterde band van MS10. **Reductie van 96% van de MP-emissies.**

R-strategieën: refuse (R1) en reduce (R2)

Naast deze maatregelen wordt in diverse landen ingezet op de invoering van verschillende R-strategieën: refuse & rethink (R1), reduce (R2), reuse (R3), repair (R4), recycling (R5) & recover (R6). In Nederland verkopen steeds meer supermarkten verpakkingsvrije producten⁵¹. Brede uitrol van dergelijke concepten zou de consumptie van plastic flink reduceren met als gevolg minder vorming van en blootstelling aan microplastics.

MS17

Toepassing van R-strategieën R1 & R2, resulterend in een jaarlijkse **krimp van 1% richting 2050** (versus het MAX-scenario van 4% groei per jaar).

Hoe effectief zijn de opties?

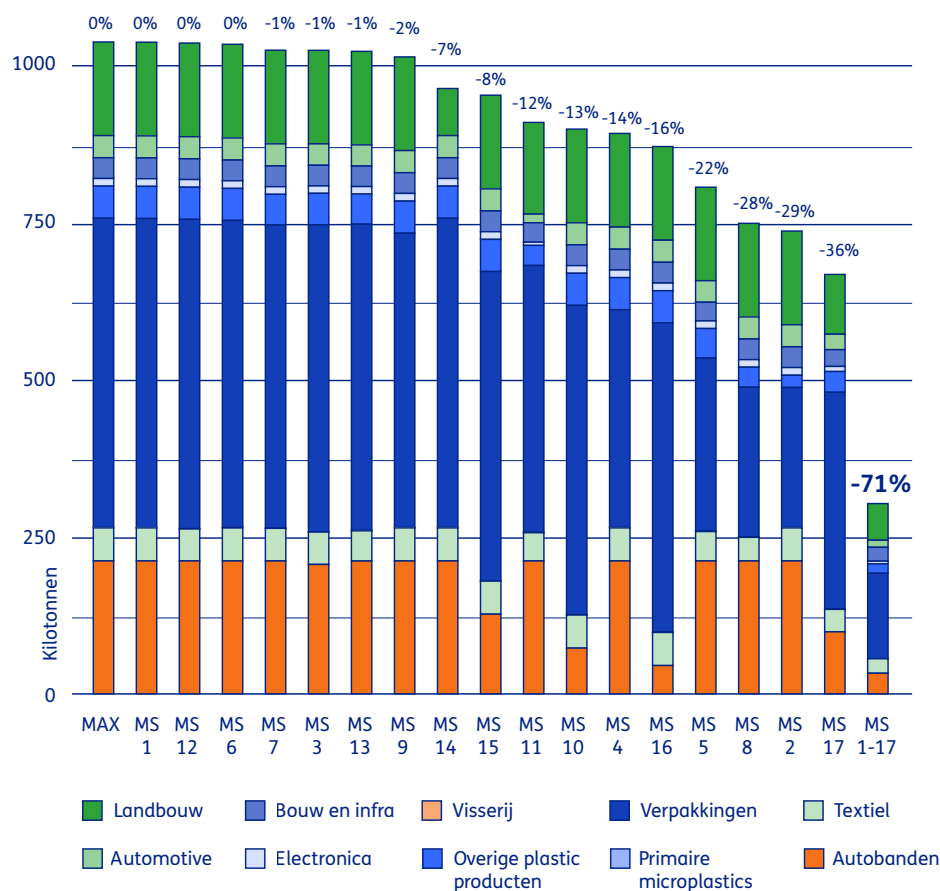
Effectiviteit doorgerekend

Voor elk van de 17 mitigatiestrategieën (zie Tabel 1 pagina 12 voor het overzicht) is de effectiviteit doorgerekend met behulp van het TNO-model. De resultaten hiervan zijn samengevat in Figuur 8.

De effectiviteit is hier gedefinieerd als het vermogen om huidige (primair & secundair) en toekomstige (secundair, vanuit plastic afval reeds aanwezig in het milieu) vorming van microplastics te voorkomen.

Als referentiepunt is uitgegaan van het MAX-scenario (2050, zie Figuur 5 pagina 10).

Effectiviteit van mitigatiestrategieën



Figuur 8. Effectiviteit van alle individuele maatregelen ten opzichte van het MAX-scenario (linker kolom) voor Nederland. Rechterkolom (MS1-17) is de effectiviteit van de combinatie van deze mitigatiestrategieën. Bron: TNO.

Voor uitleg van de 17 mitigatiestrategieën en onderverdeling in de bijbehorende 9 verschillende categorieën zie tabel 1 pagina 12.

Impact

Figuur 8 laat zien dat er vijf mitigatiestrategieën zijn die een flinke impact (>15% per strategie) kunnen hebben op het voorkomen of reduceren van de vorming van microplastics:

MS17

Invoering van R-strategieën R1 & R2;

MS2

Restrictie Single-Use Plastics;

MS8

Het gebruik van betere materialen (met een lagere MPI);

MS5

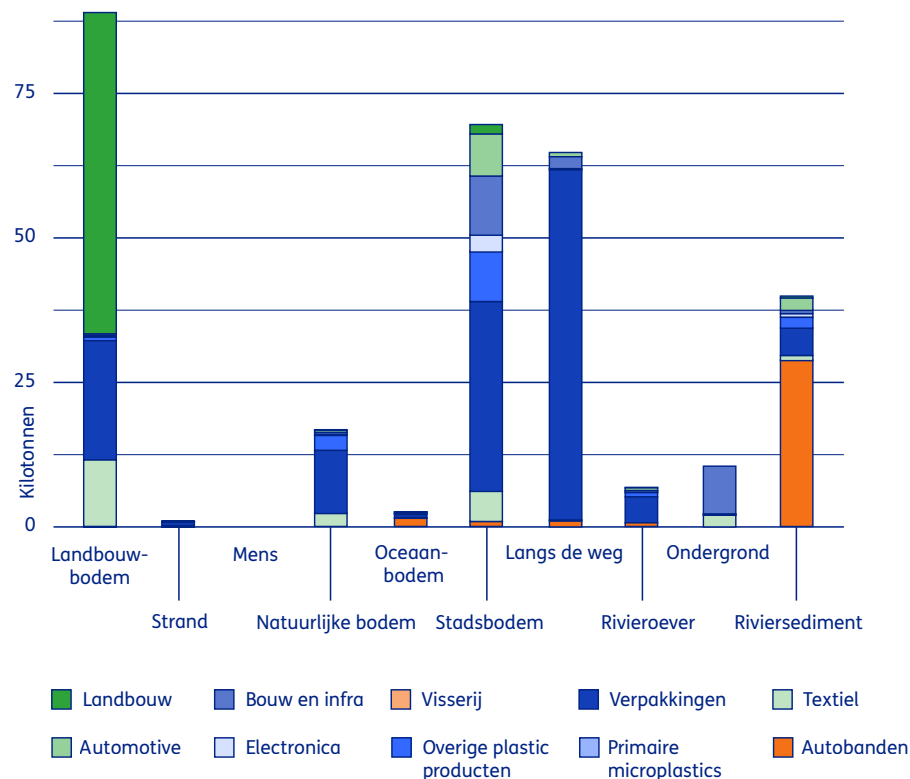
Uitbreiding van statiegeld (MS4) in combinatie met opruimen van de restjes;

MS16

Gebruik van een betere autoband (MS10) samen met het afvangen van rubber deeltjes.

Voorkomen van zwerfafval is net zo belangrijk als het opruimen van al aanwezige plastics.

Compartimenten waar overgebleven microplastics zich bevinden



Figuur 9. Microplastics die na toepassing van de 17 mitigatiestrategieën in 2050 nog steeds in diverse milieucompartimenten liggen. Bron: TNO.

Er zijn echter ook zeven maatregelen die niet of nauwelijks effect hebben: 98-100% van het probleem blijft in stand na toepassing van de betreffende mitigatiestrategie. Figuur 8 op pagina 19 maakt duidelijk dat een combinatie van maatregelen nodig zal zijn om het probleem van microplastics naar tevredenheid op te lossen. Maar niet alle oplossingen zijn met elkaar te combineren. Zo heeft het geen zin om een ander materiaal te kiezen voor plastic rietjes als ze toch verboden worden. Dit is meegenomen in de berekening van MS1-17, die laat zien dat het combineren van alle bij elkaar passende mitigatiestrategieën ertoe kan leiden dat blootstelling van mens en milieu aan microplastics met zo'n 70% afneemt in 2050 (ten opzichte van het MAX-scenario). Toepassing van deze mitigatiestrategieën zorgt in 2030 al voor 37% reductie, in overeenstemming met de Nederlandse en Europese ambities (30% reductie in 2030⁵²).

Opruimen en voorkomen van zwerfafval

De ruwweg 30% microplastics die na realisatie van de zeventien maatregelen nog overblijft, ligt verspreid door het milieu in moeilijk op te ruimen compartimenten (zie Figuur 9). Een met microplastics bezaaide bodem van een rivier ("riviersediment") is een goed voorbeeld van zo'n moeilijk op de ruimen compartiment. Bovendien

wordt het merendeel van de resterende microplastics gevormd uit plastics die in het milieu degraderen. Het voorkomen van zwerfafval is daarmee een belangrijke taak, maar het opruimen van nu aanwezige plastics net zo. Dit is alleen niet eenvoudig omdat ze vaak begraven liggen, dus uit het zicht blijven tijdens opruim- en schoonmaakacties.

Figuur 9 geeft aan dat er bij sommige mitigatiestrategieën nog een extra inspanning nodig is om een hogere reductie van blootstelling aan microplastics te bereiken.

Niet berekend in het model

De hieronder beschreven opties zijn niet met het model berekend:

- Recuperatie landbouwfolie (MS14): van 90 naar 95% dan wel toepassing van biodegradeerbare materialen;
- Groeiend bewustzijn in gevolgen wegwerpgedrag, resulterend in minder plastic vervuiling;
- Statiegeld (MS4): van 95 naar 99% effectief door gerichte maatregelen op verpakkingen die veelvuldig in zwerfafval voorkomen;
- Verbeterde filters en afvangsystemen die emissie van microplastics naar oppervlaktewater nog verder reduceren (MS15).

Mens, microplastics & mitigaties

Met TNO's Microplastics Model kunnen we informatie groeperen specifiek voor de blootstelling van mensen aan microplastics.

Grofweg kunnen we op drie manieren aan microplastics worden blootgesteld: via inhalatie, spijsvertering en de huid.

Wetenschappelijke literatuur wijst uit dat met name inhalatie en spijsvertering van belang zijn⁵³. Effectieve mitigaties richten zich dan ook met name op het verbeteren van de luchtkwaliteit enerzijds en de voedselkwaliteit anderzijds. De luchtkwaliteit zal toenemen als indirect gevolg van het toepassen van een breed palet aan mitigatiestrategieën (10, 16 en 17), terwijl burgers de luchtkwaliteit binnenshuis kunnen verhogen door het toepassen van adequate luchtfilters (MS13). Het voorkomen van plastic zwerfafval (MS2, 5) in diverse milieucompartimenten zal een indirect effect hebben op de kwaliteit van ons voedselsysteem. Het verbeteren van plastic verpakkingen (MS9) heeft een direct effect. Door een combinatie van nieuwe producten, technologie, gedrag en regelgeving is een reductie van ongeveer 55% mogelijk ten opzichte van het MAX-scenario.

Het model laat zien dat voor blootstelling aan mensen slijtage van autobanden de grootste bron van microplastics is (~35%), gevolgd door verpakkingen (~25%).

De overige 40% is divers: textiel, overige plastic producten en automotive plastics (exclusief rubber).

Wat is het handelingsperspectief?

Om dit pakket van effectieve mitigaties te ontwikkelen en te realiseren is ketenbrede samenwerking nodig tussen overheden, bedrijfsleven en consument.

Internationale context

Vanwege de globalisatie van voedsel- en waardeketens zijn de benodigde actoren niet alleen in Nederland te vinden. Daarom geven we hieronder bij de beschrijving van het handelingsperspectief aan waar we afhankelijk zijn van Europese en internationale ontwikkelingen op gebied van technologie, gedrag en regelgeving.

MS17

Voor MS17 (R-strategieën) is een maatschappelijke verandering nodig rond het gebruik van plastics, met name verpakkingen. Hiervoor is het nodig dat ngo's, consumenten en retail samen om tafel gaan zitten om met nieuwe formules te komen die leiden tot vermindering van de (groei in) consumptie van plastics. Europese wetgeving kan hiervoor de juiste (markt) condities genereren.

MS8, MS10, MS14 en MS16

Voor MS8, MS10, MS14 en MS16 (materiaalkeuze en productontwerp) zijn de rubber- en kunststofindustrie samen met onderzoeksinstituten aan zet om nieuwe materialen en formuleringen te ontwikkelen die resulteren in verpakkingen en banden met significant minder vorming van microplastics gedurende de gehele levensduur. Samenwerking met toonaangevende Europese en internationale partijen kan deze ontwikkelingen versnellen. De overheid kan het juiste juridisch kader bieden, bijvoorbeeld door safe-by-design principes aan te scherpen met het oog op de vorming van microplastics. Verder kan de zogenaamde voice of the customer de vraag naar nieuwe, verbeterde producten stimuleren. Ook is er aandacht nodig voor biodegradeerbare polymeren als mitigatie voor microplastics die gevormd worden uit zwerfafval dat ondanks alles alsnog in het milieu belandt.

MS2, MS4 en MS5

Voor MS2 (wetgeving) en MS4 (statiegeld) is een grote rol voor de nationale én Europese overheid weggelegd. Bij de uitrol van nieuwe beleids- en juridische kaders is helderheid belangrijk, maar is ook standvastigheid nodig zodat niet uitzondering op uitzondering wordt gestapeld. Voorlichting over het waarom en betrokkenheid van de consument is hier ook van belang. Beleidsbepalers bij overheid en eindgebruikers moeten in een vroeg stadium samenwerken. Voor MS5 (opruimen zwerfafval) specifiek is digitalisering, zoals digital marking, noodzakelijk voor een bredere uitrol dan alleen flessen. De technologieleveranciers die met deze ontwikkeling bezig zijn, spelen dus ook een voorname rol.

MS15 en MS11

Voor MS15 (bronscheiding rubber) zal met name Rijkswaterstaat in actie moeten komen om te bepalen op welke manier de diffuse emissie van microplastics het beste is op te vangen. Daar waar nodig zal de ontwikkeling van robuuste technologie noodzakelijk zijn. Voor MS11 (recycling technologie) geldt een vergelijkbaar verhaal: de huidige actoren in de sector hebben tot taak de recyclingtechnologieën te verbeteren.

Wat kost dit handelingsperspectief?

En wat zijn de juiste prioriteiten?

Zonder maatschappelijk draagvlak voor de kosten van dit mitigatiepakket komen de genoemde stakeholders niet in beweging.

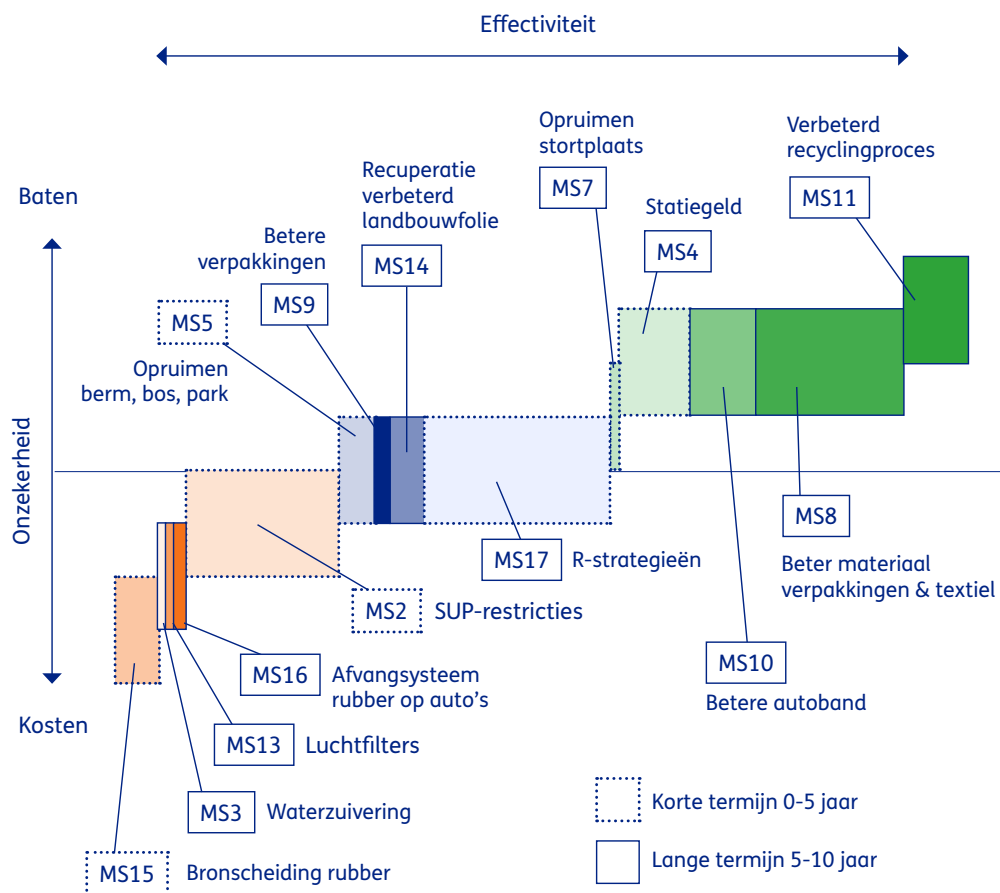
Tabel 2 beschrijft een kwalitatieve inschatting van de kosten per mitigatiestrategie, op basis van expert opinion en stakeholder interviews.

Samen met de potentiële effectiviteit van de mitigaties (Figuur 8 op pagina 19) en de snelheid waarmee deze maatregelen ontwikkeld en gerealiseerd kunnen worden (expert opinion) geeft deze (geconsolideerde) kwalitatieve inschatting van de kosten van het handelingsperspectief een eerste inzicht in het afwegingskader voor Nederland (Figuur 10 op pagina 24).

Mitigatiestrategie	Toelichting	Kosten/baten voor burger	Kosten/baten voor industrie	Effect op CO2/klimaat	Geconsolideerd input Figuur 10
MS2 	Restrictie op Single-Use Plastics	0	-	?	-/0
MS3 	Upgrade waterzuiveringssysteem	-	-	+	-
MS4 	Bredere uitrol statiegeld	0	+	+	+
MS5 	Opruimen zwerfafval in berm, park, bos	0	0	+	0
MS7 	Extractie plastic uit stortplaatsen	0	0/+	+	0/+
MS8 	Materialen/grades met betere MPI	+	+	+	+
MS9 	Betere verpakkingsconcepten	0	-	+	0
MS10 	Verbeterde autoband (minder slijtage)	+	+	+	+
MS11 	Precisie-recycling technologie	0	++	+	++
MS13 	Toepassing verbeterd luchtfilter	-	0/+	0	-
MS14 	Recuperatie landbouwfolie	0	0	0	0
MS15 	Rubbercollectie langs de weg en sportveld	--	0	+	--
MS16 	Afvangstelsysteem autoband	-	0	0	-
MS17 	R-strategieën refuse & reduce	+	-	?	0

Tabel 2. Kwalitatieve inschatting kosten (-)/baten (+) per mitigatiestrategie, strategieën met minimaal effect zijn weggelaten. Kosten die bij overheid liggen zijn hier onder burger geschaard, die deze kosten via belastingen indirect draagt. Bron: TNO.

Prioriteiten



Figuur 10. Kosten (of baten) versus effectiviteit per mitigatiestrategie. Breedte van de balk correspondeert met mate van effectiviteit (uit Figuur 8), hoogte van de balk suggereert de onzekerheid van de kostenschattting. Vlakken met stippellijn duiden een doorlooptijd van 0-5 jaar om de betreffende mitigatiestrategie te realiseren, omliggende vlakken hebben een doorlooptijd van 5-10 jaar. Bron: TNO.

Figuur 10 toont de kosten/baten (y-as) van een mitigatiestrategie als functie van de mate van effectiviteit (x-as). Daarmee is in één oogopslag te zien welke maatregelen zowel effectief (breed) zijn als kosten-dekkend (boven de x-as). Voor dergelijke mitigatiestrategieën is maatschappelijk draagvlak eenvoudiger te realiseren dan voor maatregelen die de consument direct in de portemonnee raken. Ook toont Figuur 10 welke maatregelen op korte termijn zijn in te voeren (vlakken met stippellijn) en welke op langere termijn (omlijnde vlakken). Het hierboven beschreven handelingsperspectief vereist nationale coördinatie door de Nederlandse overheid. Het in Figuur 10 getoonde afwegingskader helpt de beleidsbepalers van de overheid om samen met de verschillende stakeholders de juiste prioriteiten te stellen.

De prioriteiten zijn als volgt gerangschikt:

MS4 – Statiegeld

Het gebruik van statiegeld (MS4) verder uitrollen, met name voor die (verpakings)producten die momenteel vaak als zwerfafval in het milieu terechtkomen. De benodigde technologie, zoals digital marking, zal binnen een periode van vijf jaar beschikbaar kunnen zijn. De overheid kan hier een aanjagende functie hebben.

MS17 – R-strategieën

Focussen op het versneld ontwikkelen en realiseren van R-strategieën (MS17), daar waar nodig met Europese en internationale stakeholders.

MS5 – Opruimen berm, bos, park

Lokale initiatieven ondersteunen en stimuleren die zwerfafval langs wegen, in parken en natuurgebied verminderen (MS5).

MS11 – Verbeterd recyclingproces

Onderzoek naar en invoering van verbeterde recyclingtechnieken versnellen. Nederland herbergt een aantal (wetenschappelijke) topinstituten die met de juiste focus en middelen meters kunnen maken om MS11 succesvol te kunnen ontwikkelen.

MS8, MS10 en MS14 – Materiaalinnovaties

Samenwerken met Europese en internationale organisaties om materiaalinnovaties op gebied van reductie van degradatie van verpakkingen (MS8), banden (MS10), folies (MS14) en textiel (MS8) te bewerkstelligen, inclusief het gebruik van biodegradeerbare materialen.

MS2 – SUP-restricties

Adequaat Europese en internationale wetgeving op gebied van SUPs (MS2) toepassen (uitvoeren en naleven), inclusief een evaluatie van de duurzaamheid van toegepaste alternatieven.

MS15 – Bronscheiding rubber

Technologie, bijbehorende beleidskaders en businessmodellen voor mitigatie van niet-puntbronnen van microplastics (rubber (MS15), verf/coatings) ontwikkelen.

Lonkend perspectief

Succesvol uitgevoerd handelingsperspectief maakt onze bossen, bermen, rivieren, zeeën en oceanen weer schoon.

Dan is de blootstelling aan de mogelijk schadelijke effecten van microplastics significant gereduceerd en beschikken we over frisse buitenlucht, schoon drinkwater en veilig voedsel.

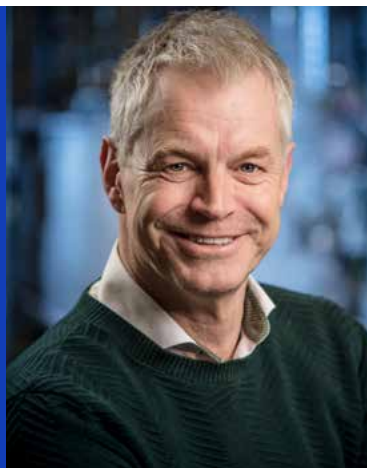
Bedrijven in de plastics waardeketen kunnen hun license-to-operate behouden en de transitie richting circulaire plastics gestalte geven.

Verwijzingen

- 1 TNO publicatie "Verspil het niet!" uit 2020: | <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/circular-economy/plastics/>
- 2 Towards a definition of microplastics (rivm.nl) | <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0116.pdf>
- 3 Detection of microplastics in human lung tissue using µFTIR spectroscopy | <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>
- 4 Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood | <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- 5 Evidence on microplastics does not yet point to widespread risk, say Europe's top scientists – SAPEA | <https://sapea.info/microplastics-launch/>
- 6 Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health (who.int) | <https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608>
- 7 A/CONF.151/26/Vol.I: Rio Declaration on Environment and Development (un.org) | https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_CONF.151_26_Vol.I_Declaration.pdf
- 8 Belanghebbenden bij het voorzorgsprincipe | Rathenau Instituut | <https://www.rathenau.nl/nl/kennisgedreven-democratie/belanghebbenden-bij-het-voorzorgsprincipe>
- 9 World Economic Forum: The New Plastics Economy | https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf
- 10 EU plastics strategy | <https://www.europarc.org/wp-content/uploads/2018/01/Eu-plastics-strategy-brochure.pdf>
- 11 EU Circular Economy Action Plan | <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>
- 12 ECHA proposes to restrict intentionally added microplastics | <https://echa.europa.eu/-/echa-proposes-to-restrict-intentionally-added-microplastics>
- 13 Response from the Netherlands to the European Commission's public survey on Microplastics pollution – measures to reduce impacts on the environment | Rapport | Rijksoverheid.nl | <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/06/09/bijlage-2-pc-microplastics-additional-response-from-the-netherlands-to-the-public-survey-on-microplastics>
- 14 TNO paper "Plastics in the global environment assessed through material flow analysis, degradation and environmental transportation", submitted to Science of The Total Environment
- 15 Degradation Rates of Plastics in the Environment | ACS Sustainable Chemistry & Engineering | <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- 16 Knowledge hub • Plastics Europe | <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/>
- 17 What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 | Urban Development (worldbank.org) | <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- 18 EUROMAP - Market Data | <https://www.euromap.org/markets/market-data>
- 19 Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment | <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- 20 Environmental Degradation of Tire-Wear Particles | Rubber Chemistry and Technology | <https://doi.org/10.5254/1.3535066>
- 21 Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment | <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137823>
- 22 Aging of tire and road wear particles in terrestrial and freshwater environments – A review on processes, testing, analysis and impact | <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132467>
- 23 World Economic Forum: The New Plastics Economy | https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf
- 24 <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/circular-economy/plastics/>
- 25 EU plastics strategy | <https://www.europarc.org/wp-content/uploads/2018/01/Eu-plastics-strategy-brochure.pdf>
- 26 Registry of restriction intentions until outcome - ECHA (europa.eu) | <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73>
- 27 Governance Strategies for Mitigating Microplastic Pollution in the Marine Environment: A Review | <https://doi.org/10.3390/microplastics1010003>
- 28 Afzet van zuiveringsslib naar bestemming, 1981-2020 | Compendium voor de Leefomgeving (clo.nl) | <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0154-afzet-van-zuiveringsslib-naar-bestemming>
- 29 Technology - Wasser 3.0 (wasserdreinull.de) | <https://wasserdreinull.de/en/our-offers/technology/>
- 30 Zwerfinator ziet sterke afname plastic flesjes in zwerfafval - ZWERFINATOR | <https://zwerfinator.nl/zwerfinator-ziet-sterke-afname-plastic-flesjes-in-zwerfafval/>
- 31 The Ocean Cleanup | <https://theoceancleanup.com/>
- 32 The Great Bubble Barrier - A smart solution to plastic pollution | <https://thegreatbubblebarrier.com/>
- 33 A simple technique to mitigate microplastic pollution and its mobility (via ballast water) in the global ocean | <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117070>
- 34 Kenyan recycles plastic waste into bricks stronger than concrete | Reuters | <https://www.reuters.com/article/us-kenya-environment-recycling-idUSKBN2A211N>
- 35 Recycling van plastics in asfalt – een analyse | <https://brcc.be/sites/default/files/2020-10/SN50.pdf>
- 36 MPI paper TNO: to be submitted
- 37 Do Recycled Cotton or Polyester Fibers Influence the Shedding Propensity of Fabrics during Laundering? | <https://doi.org/10.14504/ajr.7.S1.4>
- 38 Degradation Rates of Plastics in the Environment | ACS Sustainable Chemistry & Engineering | ACS Sustainable Chemistry & Engineering | <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- 39 Microplastics generated from a biodegradable plastic in freshwater and seawater - ScienceDirect | <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117123>
- 40 Microplastics generated when opening plastic packaging | Scientific Reports (nature.com) | <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61146-4>
- 41 Leon-T Project - European Project (leont-project.eu) | <https://www.leont-project.eu/>
- 42 Potential measures against microplastic emissions to water (rivm.nl) | <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0193.pdf>
- 43 Study of thermal and mechanical properties of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate) before and after injection molding | [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(99\)00301-8](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(99)00301-8)
- 44 TNO multiple-loop recycling paper, to be submitted.
- 45 LEMPLAR - Losses & Emissions in Plastic Recycling (ispt.eu) | <https://ispt.eu/projects/lemplar/>
- 46 PlanetCare houdt met wasmachinefilter plasticvervuiling tegen bij de bron - Duurzaam Ondernemen (duurzaam-ondernemen.nl) | <https://www.duurzaam-ondernemen.nl/planetcare-houdt-met-wasmachinefilter-plasticvervuiling-tegen-bij-de-bron/>
- 47 Blueair Air Purifiers Remove Microplastics From the Air (prnewswire.com) | <https://www.prnewswire.com/in/news-releases/blueair-air-purifiers-remove-microplastics-from-the-air-684554861.html>
- 48 Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment | <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- 49 Removal of rubber, bitumen and other microplastic particles from stormwater by a gross pollutant trap - bioretention treatment train | <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117457>
- 50 World's first device to capture harmful tyre particles invented by students | Imperial News | Imperial College London | <https://www.imperial.ac.uk/news/195595/worlds-first-device-capture-harmful-tyre/>
- 51 Verpakkingsvrij wordt steeds normaler: 'Het is niet moeilijk, maar je moet er wel voor in actie komen' - EenVandaag (avrotros.nl) | <https://eenvandaag.avrotros.nl/item/verpakkingsvrij-wordt-steds-normaler-het-is-niet-moeilijk-maar-je-moet-er-wel-voor-in-actie-komen/>
- 52 Response from the Netherlands to the European Commission's public survey on Microplastics pollution – measures to reduce impacts on the environment | Rapport | Rijksoverheid.nl | <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/06/09/bijlage-2-pc-microplastics-additional-response-from-the-netherlands-to-the-public-survey-on-microplastics>
- 53 Microplastics in the Environment: Intake through the Food Web, Human Exposure and Toxicological Effects | <https://www.mdpi.com/2305-6304/9/9/224>

Auteurs

Jan Harm Urbanus
Andrea Brunner, Arjen Boersma,
Sieger Henke, Ingeborg Kooter,
Sietske Lensen, Luke Parker,
Anna Schwarz, Pieter Imhof,
Ardi Dortmans, Marinke Wijngaard

**Contact**

Pieter Imhof

Business developer
Circulaire economie en milieu

✉ pieter.imhof@tno.nl

☎ +31 6 51 52 11 79

🌐 <https://www.linkedin.com/in/pieterimhof/>

Circulaire Plastics

Om de uitputting van de aarde tegen te gaan en bij te dragen aan het klimaat is het terugdringen van plastic afval van groot belang. Wij maken het mogelijk om de plastics die we gebruiken, circulair te maken. TNO ontwikkelt scenariomodellen om richting te geven aan de circulaire transitie. Samen met onze partners werken we aan verbeterde producten, nieuwe recyclingtechnologieën en doen we onderzoek naar (het effect van) microplastics.

tno.nl/microplastics

