



Chemelot op weg naar minder
microplastics in het afvalwater

Microplastics vanuit het perspectief van Chemelot

Wereldwijd wordt steeds meer plastic gebruikt. Het is verwerkt in allerlei veelgebruikte voorwerpen, van tandenborstel, telefoon, speelgoed, auto tot (regen)kleding. Hoewel plastics het leven in veel opzichten een stuk beter en gemakkelijker maken, levert het ook een onvermijdelijke uitdaging op om te voorkomen dat plastic afval in het milieu eindigt. Als het daar wel terechtkomt dan breekt het langzaam af in kleinere plastic deeltjes, zogenaamde microplastics en kan zo een risico vormen voor de natuur en de mens.

Chemelot is een van de grootste chemische complexen van West-Europa en produceert en verwerkt plastics als grondstof voor vele producten. In lijn met de klimaatdoelstellingen van Parijs heeft Chemelot de ambitie om in 2050 CO₂-neutraal te produceren. We werken er hard aan om de meest duurzame site van Europa te worden. Hiervoor treffen we ook maatregelen voor een schone omgeving. Het voorkomen dat microplastics in het water terechtkomen is daar een belangrijk onderdeel van.

Precieze cijfers zijn er nog onvoldoende, onder meer door gebrek aan gestandaardiseerde meetmethoden, maar microplastics kunnen een potentieel risico voor de gezondheid zijn. We zetten ons op Chemelot dan ook in om meetmethodes voor microplastics (verder) te ontwikkelen en het vrijkomen van microplastics zoveel mogelijk te reduceren. Tegelijkertijd signaleren we dat er informatie verspreid wordt die niet altijd van toepassing is op Chemelot en/of een onjuist beeld schetst.

Met dit rapport willen we als Chemelot onze huidige kennis over microplastics delen met een breed publiek en het vrijkomen van microplastics op Chemelot in het perspectief plaatsen van de productie en het gebruik van plastics en de hiermee verbonden activiteiten op Chemelot. Dit rapport laat zien welke inspanningen er nu al worden gedaan en hoe Chemelot haar koplopersrol wil invullen op het gebied van duurzaamheid en het tegengaan van microplastics in afvalwater.

Christian Widdershoven
CEO Circle Infra Partners

Loek Radix
Executive director Chemelot

Inhoud

Voorwoord Microplastics vanuit het perspectief van Chemelot	3
Samenvatting	7
Leeswijzer	9
Deel A: (Micro)plastics rondom Chemelot	
1. Chemelot en haar omgeving	10
1.1 De site Chemelot	10
1.2 Duurzaamheidsvisie Chemelot	11
1.3 De plasticproductie op Chemelot	11
1.3.1 Welke type plastics worden geproduceerd?	12
1.4 Recyclinginitiatieven	14
1.5 De afvalwaterketen op Chemelot	15
2. Lozing van microplastics door Chemelot	16
3. Wat doet Chemelot ter preventie van lozing van microplastics	17
3.1 Operation Clean Sweep	17
3.2 Verwijdering microplastics in het rioolstelsel	20
Deel B: Meten van microplastics in afvalwater Chemelot	
4. Meetmethoden	21
5. Resultaten	25
Deel C: Microplastics in de leefomgeving	
6. Wat zijn microplastics en hoe en waar komen ze in het milieu terecht?	28
6.1 Wat zijn microplastics?	29
6.2 Bronnen en hoeveelheden microplastics	30
6.3 Waar komen microplastics terecht?	31
6.3.1 Microplastics in oppervlaktewater	33
7. Impact van microplastics in het milieu	34
7.1 Waarom is het risico moeilijk in te schatten?	34
7.2 Invloed op ecosystemen	34
7.3 Invloed op oppervlakte- en drinkwater	36
7.4 Gezondheidsrisico's voor de mens	36
8. Regulering van microplastics in het milieu	37
8.1 Europese wetgeving	37
8.2 Nederlandse wetgeving	38
8.3 Wet- en regelgeving kwaliteit van oppervlakte- en grondwateren	38
8.4 Watervergunning Circle Infra Partners	39
Deel D: Conclusie	
9. Plastic verliezen gericht verder verminderen	41
Referenties	42

Samenvatting

Chemelot produceert jaarlijks 2,3 miljard kilogram (kg) plastic, 4% van de Europese productie. De plastics die op Chemelot worden gemaakt vormen de basis voor allerlei verschillende eindproducten. Denk bijvoorbeeld aan verpakkingen, speelgoed, auto-onderdelen, telefoons, kleding, gordijnen en keukenapparatuur.

Chemelot heeft de ambitie om de eerste circulaire chemie- en materialensite van Europa te zijn. Het doel is dat alle producten die Chemelot vandaag maakt, ook in de toekomst beschikbaar zijn, maar dan op een 'groene' manier. Om in 2050 klimaatneutraal te zijn wordt volop ingezet op zowel een grondstoffentransitie als energietransitie, hiermee loopt Chemelot voorop in Europa. Om de meest duurzame chemiesite van Europa te kunnen zijn, willen we op Chemelot ook onze milieu-impact zo klein mogelijk maken. Daar is het voorkomen van microplastics in het water een belangrijk onderdeel van.

Plastic producerende fabrieken op Chemelot hebben diverse concrete maatregelen getroffen om de hoeveelheid microplastics die in het milieu terechtkomt te verminderen. Zo wordt bijvoorbeeld door gericht schoonmaken het morsen van plastic pellets voorkomen (Operation Clean Sweep). Ook bezinkinstallaties in het rioolsysteem en de Integrale Afvalwater Zuivering Installatie van Chemelot spelen een rol bij het verwijderen van microplastics. Daarnaast is in 2020, toen plastics als aparte categorie in de watervergunning van Chemelot opgenomen is, gestart met het meten van microplastics in het gezuiverde afvalwater. Daarmee loopt Chemelot voorop, want meetmethoden om microplastics in beeld te brengen, zijn nog in ontwikkeling.

Waarom microplastics meten?

Microplastics zijn vaste plastic deeltjes, kleiner dan vijf millimeter, in allerlei vormen en afmetingen. Ze ontstaan als plastic afbreekt in alsmaar kleinere plastic deeltjes, of worden vanwege hun functie bewust gemaakt. Microplastics die in het milieu terechtkomen vormen een potentieel risico voor de natuur en mens. Over de gezondheidsrisico's van microplastics is nog veel onduidelijk. Door het toenemende gebruik van plastics kunnen de risico's te groot worden, als er niets wordt gedaan aan de emissies van plastic via allerlei routes naar het milieu. Jaarlijks komt circa 14 miljoen kg microplastic in Nederlandse wateren terecht. Naar schatting komt in totaal per jaar 3 miljoen kg microplastics met de Rijn en de Maas Nederland binnen, waarvan 200.000 kg via de Maas.



In dit rapport geven we, met behulp van recente meetresultaten, voor het eerst een meer concrete indicatie van de soort en hoeveelheid microplastics (vaste stof) die we naar het afvalwater verliezen: circa 3.000 kg per jaar. Dat staat gelijk aan minder dan 2% van de hoeveelheid plastics die volgens Rijkswaterstaat met de Maas Nederland binnenkomt.

De meetresultaten geven ons inzicht in waar reductie mogelijk is. Met deze aanknopingspunten gaan we samen met bedrijven op Chemelot gericht aan de slag om de verliezen aan microplastics verder te reduceren. We gaan door met onderzoek om nog preciezer te achterhalen om welke stoffen het gaat en hoe we verlies via het afvalwater kunnen voorkomen. Daarnaast blijven we inzetten op schoonmaakacties en bewustwording.

Leeswijzer

Op Chemelot wordt afvalwater van meer dan zestig verschillende fabrieken gezuiverd door de Integrale Afvalwater Zuivering Installatie (IAZI), beheerd door Circle Infra Partners. Vanuit de watervergunning heeft Circle Infra Partners de plicht om uiterlijk 1-1-2024 een rapportage op te leveren aan het Waterschap Limburg vanwege het voorschrift 36 'plastics'. Deze rapportage gaat over 12 stoffen. Volgens de watervergunning mag Chemelot van deze 12 stoffen samen maximaal 14.000 kg per jaar lozen via het afvalwater. Uit de voorschrift 36-rapportage blijkt echter, op basis van metingen en nieuwe schattingen, dat op dit moment circa 4.000 kg per jaar wordt geloosd.¹

Op basis van het onderzoek dat we (mede) in het kader van voorschrift 36 hebben gedaan, hebben we ook een beter beeld gekregen van welke en hoeveel microplastics voorkomen in de vaste stof die in het afvalwater zit. Vandaar dat we in het rapport dat nu voor u ligt uitgebreid ingaan op het totaal aan microplastics (vaste stof) dat wij als Chemelot lozen (circa 3.000 kg per jaar).

Om de context van deze metingen te schetsen, bevat dit rapport informatie over: Chemelot en haar omgeving; lozing van microplastics en preventieve maatregelen die genomen worden door Chemelot (Deel A: Microplastics rondom Chemelot). In Deel B (Meten van microplastics op Chemelot) van dit rapport worden vervolgens de verschillende meetmethoden toegelicht die binnen Chemelot toegepast worden om de hoeveelheid van microplastics in het afvalwater te meten. Hiermee loopt Chemelot voorop, aangezien de meetmethoden om microplastics in beeld te brengen nog in ontwikkeling zijn. Met de recente meetresultaten hebben we voor het eerst een meer concrete indicatie van de soort en hoeveelheid microplastics die we naar het afvalwater verliezen. Met deze aanknopingspunten gaan we samen met de fabrieken op Chemelot gericht aan de slag om de verliezen aan microplastics verder te reduceren.

Deel C (Microplastics in de leefomgeving) beschrijft wat microplastics zijn, wat de bronnen van microplastics kunnen zijn en waar ze terechtkomen. Tenslotte besteden we aandacht aan de impact van microplastics en regulering van microplastics in het milieu.

Je gebruikt plastics meer dan je denkt

Het voordeel van plastic is dat het sterk en licht is, het kan in allerlei vormen worden gegoten, geperst of geblazen. Zo vind je plastics terug in allerlei voorwerpen die je gedurende de dag gebruikt: Je drukt het alarm op je telefoon uit en staat op, je stapt onder de douche en pakt de shampoofles om je haar te wassen. Eenmaal beneden zet je het koffiezetapparaat aan en vult de broodtrommels en drinkbekers van je kinderen. Na het wegbrengen naar school stap je in de auto om boodschappen te doen, op je lijstje staan onder meer luiers en allerlei voedingsproducten die in plastic verpakkingen zitten. Na het afrekenen stop je de boodschappen in een herbruikbare draagtas. Daarna ga je aan het werk op je laptop. Tijdens de lunch zet je de televisie even aan om het laatste nieuws te horen en je ruimt het speelgoed op dat achtergebleven is op het tapijt. Na het eten ga je sporten op het kunstgrasveld in de buurt. Tevreden duik je 's avonds je bed weer in, waar zowel je hoofdkussen als dekbed gevuld zijn met gerecycled plastic afkomstig van PET-flessen.



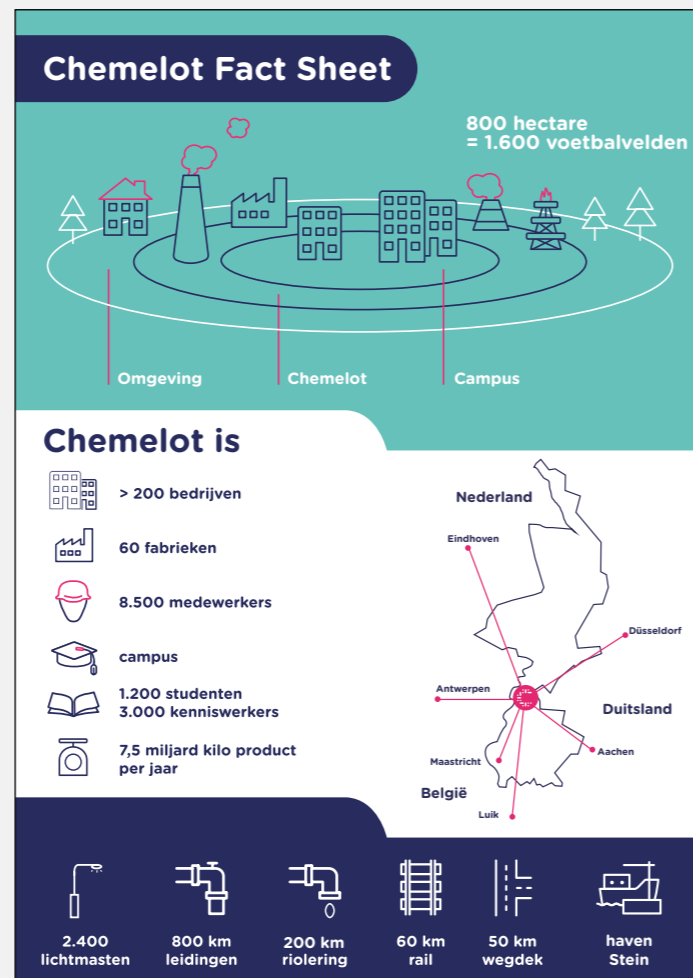
Deel A: (Micro)plastics rondom Chemelot

1. Chemelot en haar omgeving

- In dit deel:
- Chemelot is één van de meest duurzame chemiesites in Europa.
 - Chemelot klimaatneutraal in 2050: Het streven is dat alle producten die Chemelot vandaag maakt, ook in de toekomst beschikbaar zijn, maar dan op een 'groene' manier.
 - Er wordt jaarlijks 2,3 miljard kg plastic op Chemelot geproduceerd (4% van de Europese en bijna 0,6% van de wereldwijde productie).
 - Chemelot heeft een Integrale Afvalwater Zuivering Installatie (IAZI) met een capaciteit gelijk aan de capaciteit van een zuiveringsinstallatie van een stad met 1 miljoen inwoners.
 - Plastic producerende fabrieken op Chemelot hebben diverse concrete maatregelen getroffen om de hoeveelheid microplastic die in het milieu terecht komt te verminderen (onder andere met Operation Clean Sweep).

1.1 De site Chemelot

Het vroegere DSM-bedrijventerrein in Geleen is in het begin van de 20e eeuw ontstaan. De industriële activiteiten hadden primair betrekking op de winning en de be- en verwerking van steenkool. Inmiddels is Chemelot getransformeerd naar een van de grootste geïntegreerde chemische clusters in Nederland. Het terrein omvat ongeveer 800 hectare en huisvest het zogeheten Industrial Park met chemische installaties en de Brightlands Chemelot Campus voor chemie-gerelateerd onderzoek en onderwijs. Chemelot onderscheidt zich dankzij de focus op chemicaliën, performance- en duurzame materialen voor een zeer breed scala aan toepassingen en markten. De kracht van Chemelot is de hoge mate van integratie, de kennis en expertise van medewerkers op de Campus, de fabrieken en de site-services. Door energie-uitwisseling en integratie van product en afvalstromen is Chemelot één van de meest duurzame chemiesites in Europa.²



Figuur 1 Chemelot Factsheet

1.2 Duurzaamheidsvisie Chemelot

Chemelot is als energie-intensieve site onlosmakelijk verbonden met één van de grootste maatschappelijke uitdagingen van dit moment: het tegengaan van klimaatverandering. In lijn met de Nederlandse en Europese ambities is de ambitie van Chemelot om in 2050 een circulaire, duurzame en volledig klimaatneutrale chemiesite te zijn. Het streven is dat alle producten die Chemelot vandaag maakt, ook in de toekomst beschikbaar zijn, maar dan op een 'groene' manier.

Om in 2050 klimaatneutraal te zijn wordt volop ingezet op zowel een grondstoffentransitie als een energietransitie.³ Hiermee loopt Chemelot voorop in Europa. Er wordt ingezet op het elektrificeren van processen, het vervangen van fossiele grondstoffen door gerecycled (plastic) afval en biomassa, en op circulair water. Er wordt efficiënt omgegaan met grond- en brandstoffen en steeds meer gebruik gemaakt van hernieuwbare alternatieven. Het resultaat hiervan is dat de uitstoot van broeikasgassen sinds 2000 verminderd is met maar liefst 50%, terwijl de productie is gestegen.

Afvalpreventie is, zowel uit milieu als economisch oogpunt, een doelstelling van alle bedrijven op Chemelot. In 2020 ondertekende Chemelot Site Permit (CSP), houder van de milieuvergunning van het Chemelot-terrein, een OCS-convenant (Operation Clean Sweep) voor heel Chemelot. Daarna hebben CSP en kunststof producerende, transporterende en verwerkende bedrijven samengewerkt en maatregelen getroffen om emissie van kunststofkorrels, vlokken en poeder naar het milieu te verminderen.

1.3 De plasticproductie op Chemelot

Op Chemelot ontwikkelen, maken en verwerken we de materialen die de basis vormen voor verschillende plastic eindproducten, te denken aan verpakkingen die het eten en drinken langer vers houden, maar ook onderdelen in onze auto, fiets of mobiele telefoon. Plastics spelen ook een rol bij verduurzaming. Met hoogwaardige plastics worden bijvoorbeeld lichtere auto's gemaakt, die minder energie verbruiken.

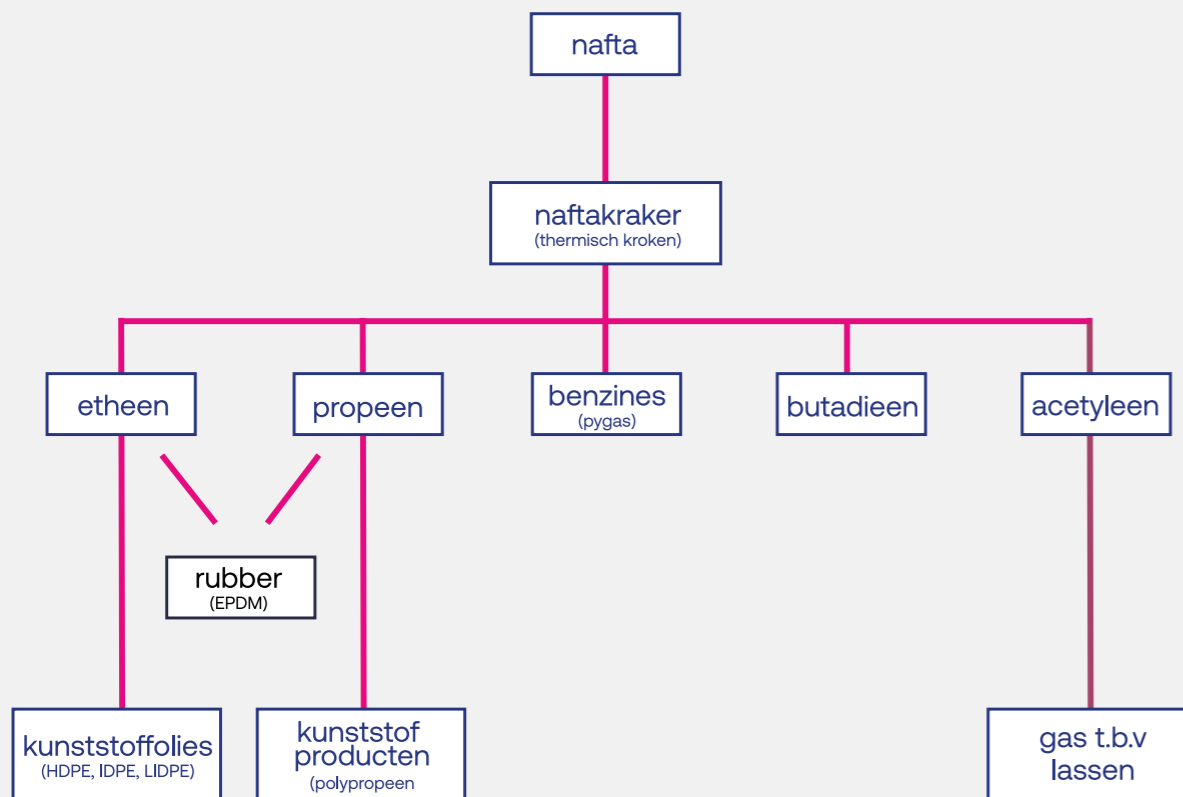
Om de producten op Chemelot te maken, worden twee hoofdroutes gebruikt. De hoofdroute om plastics te maken loopt via de naftaroute (Figuur 2). Er wordt via deze route jaarlijks 2,3 miljard kg plastic op Chemelot geproduceerd. De andere hoofdroute is de ammoniakroute via aardgas en lucht voor de productie van vezels, grondstoffen voor farmacie en kunstmest.

1.3.1 Welke type plastics worden geproduceerd?

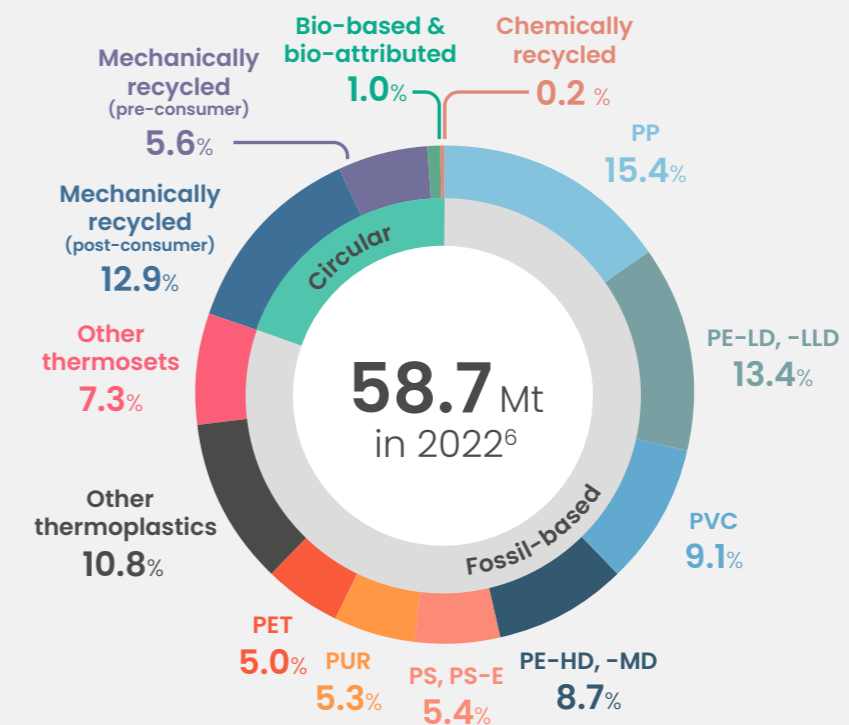
Polyethyleen (PE) en polypropreen (PP) worden het meest geproduceerd op Chemelot. PE is een veelvoorkomende thermoplast die wordt gebruikt in diverse toepassingen, waaronder verpakkingen, bouwmaterialen en allerlei producten. Op Chemelot worden verschillende soorten PE geproduceerd, waaronder hoogwaardig PE met lage dichtheid (LDPE en LLDPE) en hoogwaardig PE met hoge dichtheid (HDPE). PP is een veelzijdig polymeer dat wordt gebruikt in verpakkingen, automotieve toepassingen en meer. Daarnaast worden onder meer polyvinylbutyral (PVB), polyvinylchloride (PVC), Ethyleen-Propyleen-Dieën-Monomeer (EPDM-rubber), polyamide 4,6 (PA 4,6) en polyamide 4,10 (PA 4,10) op Chemelot geproduceerd. Deze stoffen kennen allerlei verschillende toepassingen, bijvoorbeeld in coatings om gelamineerd veiligheidsglas voor autoruiten te creëren (PVB) en in de bouw- en constructiesector voor leidingen, kozijnen, en bekledingen (PVC). EPDM kan dienen als dakbedekking, rubbers in kozijn en als manchete in de wasmachine. Maar er zijn ook allerlei toepassingen onder de motorkap (EPDM-rubber, PA 4,6 en PA 4,10). Verder worden enkele plastics toegepast in elektronica. Naast de directe productie van plastics wordt op Chemelot tevens plastic afval mechanisch en chemisch gerecycled tot opnieuw bruikbare plastics.

Plastic productie wereldwijd

Wereldwijd is er in 2022 ruim 400,3 megaton (400,3 miljard kg) plastic geproduceerd, in Europa 58,7 megaton (58,7 miljard kg). 80% van de Europese plastics (47,2 miljard kg) is geproduceerd met behulp van fossiele grondstoffen (Figuur 3).⁴ Chemelot is, met een jaarlijkse productie van 2,3 miljard kg plastics, goed voor 4% van de Europese productie en bijna 0,6% van de wereldwijde productie.



Figuur 2 Naftaroute voor de productie van kunststofproducten



Figuur 3 Europese plastic productie per polymeer⁴

1.4 Recyclinginitiatieven

Op Chemelot zijn tal van grote en kleine projecten die duurzaamheid en circulariteit dichterbij brengen. Zo worden er op de site recyclinginitiatieven ontplooid. Gebruikte polymeren zoals PE en polyethyleentereftalaat (PET) worden verzameld en gerecycled om grondstoffen voor nieuwe producten te produceren. SABIC en Plastic Energy nemen op korte termijn een fabriek in gebruik op het Chemelot terrein, waarin mechanisch moeilijk te recycelen plastic afval, chemisch omgezet wordt in een nieuwe grondstof voor nieuwe, hoogwaardige producten.

Van ons huishoudelijk afval dat moeilijk te recycelen is, wil RWE groene en circulaire waterstof en andere nuttige chemische bouwstenen maken. Hiervoor worden in Limburg twee installaties gebouwd, waarvan de allereerste ter wereld op Chemelot komt. Met deze bouwstenen kunnen meerdere fabrieken op Chemelot gevoed worden met circulaire grondstoffen en daarmee aardgas vervangen.

Een ander voorbeeld is dat Ioniqa Technologies op Chemelot de eerste 10 kiloton fabriek voor het eindeloos upcyclen van PET in bedrijf heeft genomen. Het bedrijf heeft een circulaire oplossing gevonden om alle soorten en kleuren PET-afval te recycelen tot hoogwaardige grondstoffen geschikt voor elke nieuwe PET-toepassing.

Figuur 4 Integrale Afvalwater Zuivering Installatie (IAZI)



1.5 De afvalwaterketen op Chemelot

Chemelot heeft een uitgebreid rioolsysteem bestaande uit ruim 200 km rioolbuizen. Al het water dat gebruikt wordt op Chemelot, inclusief regen en rioolwater, wordt opgevangen. Uiteindelijk gaat al dit afvalwater naar een enorme biologische afvalwaterzuiveringsinstallatie: de Integrale Afvalwater Zuivering Installatie (IAZI), zie Figuur 4. Circle Infra Partners is de beheerder van dit afvalwatersysteem.

De IAZI is een biologische behandelingsinstallatie met een capaciteit van 1 miljoen inwonerequivalenten (I.E.) Dit betekent dat de IAZI een capaciteit heeft die gelijk is aan de capaciteit van een waterzuiveringsinstallatie van een stad met 1 miljoen inwoners. De IAZI breekt stoffen in het afvalwater af met behulp van biomassa (bacteriën) in een complex biologisch proces. Dankzij deze zuiveringsinstallatie, waar nodig in combinatie met zuiveringsstappen bij de fabrieken zelf, kunnen wij voldoen aan de strenge wetgeving rondom het lozen van afvalwater. Het doel is om de kwaliteit van het maaswater zo min mogelijk te beïnvloeden en aan de ons opgelegde normen te voldoen.

Voordat het afvalwater bij de IAZI aankomt, wordt het water via diverse riolen verzameld. In de drie hoofdriolen zijn klaarinstallaties aanwezig waar de zinkende en/of drijvende vaste stof grotendeels afgevangen wordt. Dit is veelal zand, blad en andere vaste stoffen, maar naar verwachting worden ook microplastics afgevangen, vergelijkbaar aan rioolwaterzuiveringen van steden en dorpen.

Voor een biologische zuiveringsinstallatie is een stabiele bedrijfsvoering heel belangrijk. Om dit zeker te stellen en daarmee de afbraak zo effectief mogelijk te laten verlopen, wordt er veel gemeten in de riolen. Doordat zowel bij de fabriek als in de riolen (continu) analyses plaatsvinden, weten we wat er qua verontreiniging op weg is naar de IAZI. Aangevuld met communicatie tussen fabrieken en IAZI maakt dit het mogelijk om een stabiele bedrijfsvoering te garanderen door bijvoorbeeld een bepaalde stroom in bufferbassins te 'parkeren' en later gedoseerd naar de IAZI te sturen. Zo kunnen stoffen in een gecontroleerde en optimale omgeving in de IAZI worden afgebroken. De totale capaciteit van de bufferbassins is ruim 100.000 m³.

De IAZI is essentieel voor de activiteiten van de bedrijven en fabrieken op de Chemelot site. De biologische behandeling in de IAZI heeft een hoog verwijderingsrendement en wordt geclassificeerd als Best Beschikbare Techniek (BBT) voor het verwijderen van goed biologische afbreekbare stoffen. Stoffen die niet biologisch afbreekbaar zijn, worden ook gedeeltelijk in de IAZI verwijderd, doordat ze adsorberen aan het slib. De kwaliteit en de hoeveelheid afvalwater richting de IAZI wordt continu gemonitord met behulp van online analyse instrumenten. Bovendien worden op verschillende plekken dag- en weekmonsters genomen. Waterschap Limburg voert bovendien maandelijks onafhankelijk controles van het afvalwater uit.

In het proces van de IAZI zelf zijn ook diverse metingen aanwezig om te borgen dat het proces stabiel blijft verlopen. Bij afwijkingen wordt direct actie genomen want er is continu personeel aanwezig in de meetkamer om te zorgen dat alles goed verloopt. Daarnaast is er ook continu een buitenoperator aanwezig om alle monitoren in de rioolstromen te controleren en te zorgen dat ook daar alles stabiel blijft verlopen.

Tenslotte zit er een strakke bewaking op het effluent (gezuiverde afvalwater) waarin diverse parameters continu bemeaten worden. Een biomonitor (mosselmonitor) signaleert of er niet toch onbedoeld toxische stoffen in het gezuiverde water zitten. Mocht de mosselmonitor toxiciteit signaleren dan geeft deze direct een sein aan de meetkamer, zodat de juiste maatregelen getroffen kunnen worden.

2. Lozing van microplastics door Chemelot

De microplastics die vrijkomen op Chemelot bestaan met name uit de plastic pellets (korrels) en poeders die op Chemelot gemaakt worden, maar kunnen ook vrijkomen in andere processen, bijvoorbeeld waar materiaal gerecycleerd wordt. De microplastics kunnen via twee routes in het afvalwater terechtkomen:

- via regenwater of spoelwater dat deeltjes meeneemt de riolen in, bijvoorbeeld als plastic korrels bij het laden van vrachtwagens gemorst worden;
- via proceswater, als in het productieproces ergens microplastics ontstaan (vezels, poeders of korrels) die met proceswater meekomen naar het riool.

Het grootste deel van de microplastics wordt verwijderd door installaties bij de fabrieken zelf en in de zuiveringsinstallaties. Een klein deel blijft echter nog achter in het gezuiverde afvalwater (effluent). Tot 2020 werden microplastics niet apart gemeten, maar was deze categorie vaste stoffen onderdeel van de totale hoeveelheid vaste stof, zoals zand in het effluent. Om het verlies van microplastics via effluent te verminderen en de effectiviteit van maatregelen te kunnen beoordelen, is informatie nodig over de hoeveelheid en de soort microplastics in het effluent. Bovendien vraagt de nieuwe watervergunning informatie over microplastics. Daarom is Chemelot, als een van de eersten in de industrie, gestart met het meten van microplastics in effluent.

3. Wat doet Chemelot ter preventie van lozing van microplastics

Om de meest duurzame chemiesite van Europa te kunnen zijn, is voorkomen dat plastic afval en microplastics in het milieu terechtkomen van groot belang. De plastic producerende fabrieken op Chemelot hebben al een aantal concrete maatregelen getroffen om de hoeveelheid van plastic pellets en poeder in het milieu aanzienlijk te verminderen.

3.1 Operation Clean Sweep

Chemelot Site Permit is sinds 2020 aangesloten bij het Operation Clean Sweep (OCS) programma. Het OCS-programma is een vrijwillig internationaal programma dat is opgezet om het morsen van plastic korrels (pellets, vlokken en poeder) en het verlies ervan naar het milieu tijdens de verwerking te voorkomen. Dit industriebrede initiatief biedt bedrijven in de gehele keten verschillende richtlijnen en trainingsmateriaal om effectieve maatregelen te kunnen treffen om het verlies van plastics naar de omgeving te voorkomen.

In het kader van dit programma is gekeken met welke maatregelen Chemelot direct een significante reductie kan realiseren. Maatregelen richten zich onder meer op het verladen, want bij het verladen van vrachtauto's is er een inherent risico op het morsen van plastics op de verlaadplaats. Daarnaast blijven er soms ook plastic deeltjes op vrachtauto's liggen die bij manoeuvres in het verkeer op het asfalt en daarna in de berm kunnen belanden.

Onderstaand is een aantal concrete maatregelen opgesomd, die getroffen zijn binnen Chemelot om de plastic verliezen (en daarmee microplastics) richting het milieu aanzienlijk te verminderen:

- de operators van de diverse producenten motiveren vrachtwagenchauffeurs plastic deeltjes van het voertuig te verwijderen voordat ze het terrein verlaten;
- de frequentie waarmee veegwagens de straten op het terrein van Chemelot schoonvegen, is opgehoogd.
- bij een van de toegangspoorten is een speciale afblaasinstallatie ontwikkeld en geïnstalleerd, die auto's en vrachtauto's schoonblaast voordat ze Chemelot verlaten (Figuur 5). Het afgeblazen materiaal wordt opgezogen en afgevoerd als afval;
- buiten het industrieterrein zijn de berm langs de A2 gesaneerd: Rijkswaterstaat heeft de grond waarin (historisch) granulaat is gevonden, weggehaald en vervangen (Figuur 6);
- er is geïnvesteerd in speciale zeven op alle straatkolken, die voorkomen dat plastic pellets in het riool terecht komen (Figuur 7);
- bij een bedrijf dat, als tussenstap in de productie van korrels, plastic in poedervorm produceert, is een speciaal filter met extra fijne mazen geplaatst dat het poeder tegenhoudt en het water laat doorsijpelen voor verdere verwerking in de IAZI;



Figuur 5 Afblaasinstallatie



Figuur 6 Beeld van berm nabij Chemelot, 2018 (links) en berm nabij Chemelot na de OCS-acties, 2020 (rechts)

3.2 Verwijdering microplastics in het rioolstelsel

Zijn er ondanks bovenstaande acties toch nog korrels in het riool terechtgekomen, dan worden deze opgevangen in de zeefwand die is geïnstalleerd in de afvoer van het rioolstelsel richting de waterzuivering. Daarnaast worden microplastics verwijderd in de klaarinstallaties, doordat ze daarin bezinken of gaan drijven en 'afgeroomd' worden en apart als vaste stof afgevoerd. Tenslotte bezinken ook nog microplastics in de IAZI zelf, waar ze met het slib afgevoerd worden. Het slib wordt gebruikt als grondstof voor andere industrie. Inmiddels staat er een ingrijpend project (OASE) gepland om een aantal fundamentele verbeteringen in het rioolsysteem te implementeren. Onder andere wordt een extra zeef geplaatst waardoor meer microplastics zullen worden afgevangen in het riool. De verwachting is dat na implementatie van dit project, over circa 2 jaar, er verdere reductie van de lozing van microplastics kan worden bewerkstelligd.



Figuur 7 Beeld van een straatkolk op Chemelot, 2018 (boven), straatkolk met zeef (midden) en straatkolk met ondergrondse zeef (onder)

Chemelot Circulair Water

Om ervoor te zorgen dat Chemelot ook op het gebied van waterhuishouding de meest duurzame en veilige site van Europa wordt, is – via Brightsite – het programma ‘Circulair water voor Chemelot’ gestart.⁵ Het doel is de waterzuivering te optimaliseren, de emissies te verlagen en het watergebruik te verminderen om uiteindelijk de waterkringlopen op Chemelot zoveel mogelijk te sluiten.

Het programma Circulair water is gestart omdat naast de eigen verduurzamingsambitie, ook de ontwikkeling van de wet- en regelgeving (Kaderrichtlijn Water, en de ‘Zero Pollution’ ambitie van de EU) de eisen aan te lozen afvalwater zullen verhogen. Bovendien zal de transitie naar een duurzame chemie – met duurzame grondstoffen en processen – resulteren in grote veranderingen in het watersysteem.



Deel B: Meten van microplastics in afvalwater Chemelot

- In dit deel:
- In 2020, toen een aantal plastics expliciet in de watervergunning van Circle Infra Partners benoemd werden, is gestart met het meten van microplastics. Daarmee loopt Chemelot voorop.
 - Er is nog geen algemeen geaccepteerde, gestandaardiseerde monsternamen- en analysemethode beschikbaar voor het bepalen van de hoeveelheid microplastics in afvalwater.
 - Op basis van de uitgevoerde metingen is een eerste indicatie dat de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid microplastics die met effluent mee stroomt circa 3.000 kg per jaar is. Dat staat gelijk aan minder dan 2% van de hoeveelheid plastics die volgens Rijkswaterstaat met de Maas Nederland binnenkomt.⁶

4. Meetmethoden

In 2020 is gestart met het meten van microplastics in IAZI-effluent. Op dat moment was er geen algemeen geaccepteerde, gestandaardiseerde monsternamen- en analysemethode beschikbaar en ook nu nog is de NEN-norm voor het meten van microplastics in water in ontwikkeling. Toch zijn we gestart met meten om ervaring op te doen met de monsternamenmethode. We hebben hiervoor contact gezocht met Rijkswaterstaat (RWS) en KWR Water Research Institute (KWR), die zelf ook werken aan de ontwikkeling van meetmethoden voor microplastics in water. Er is voor gekozen om de analyses te richten op de massa microplastic (en niet de aantallen deeltjes), omdat in de vergunning ook over kg gesproken wordt. Bovendien helpt het voor de aanpak en het terugdringen van microplastics om te weten waar de grootste hoeveelheid vandaan komt.

Deze overwegingen hebben geleid tot een serie metingen met steeds verschillende proefopzetten. De inzet van de verschillende monsternamenmethoden is samengevat in Tabel 1.

Aanpak	Monsternamen methode	Periode	Locatie
Opzet 1	Grote zeven	Juni 2020 – Okt 2023	IAZI
Opzet 2a	KWR-zeven + Hemoflow	Juli 2023	IAZI
Opzet 2b	Sedimentkist + KWR-zeven	Juli 2023	IAZI
Opzet 3a	IAZI-zeven	Augustus 2023	IAZI
Opzet 3b	Sedimentkist	Augustus 2023	IAZI
Opzet 4	IAZI-zeven	Oktober 2023	IAZI
Opzet 5	KWR-zeven + Hemoflow	Oktober 2023	KWR

Tabel 1: Gebruikte meetmethodes

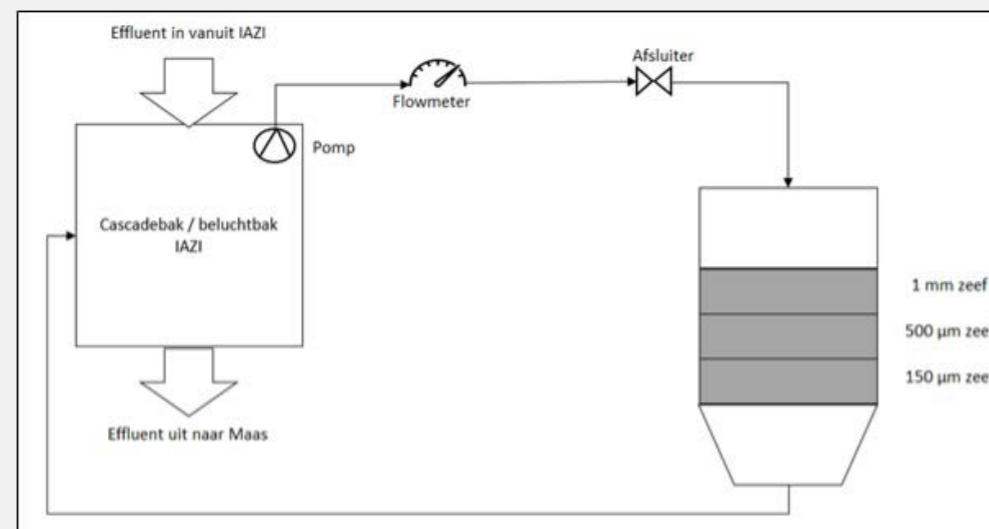
Proefopzet 1 is de basisproefopzet (grote zeven), hiermee zijn tot nu toe 21 metingen uitgevoerd. Bij deze opzet wordt een deel van het effluent over drie grote (1 x 1m) op elkaar gestapelde zeven geleid met maaswijdtes van 1mm, 0,5mm en 0,15 mm (Figuur 8 en Figuur 9).

De hoeveelheid gezeefd effluent wordt gemeten en het materiaal dat achterblijft op de zeven wordt verzameld en naar een extern laboratorium gebracht. Daar wordt het materiaal gedroogd, gewogen en geanalyseerd. Er worden verschillende (indirecte) analyses, bijvoorbeeld smeltpuntbepaling, toegepast om de hoeveelheid en soort plastic te bepalen.

Om de uitkomsten van opzet 1 te toetsen en om ook een beeld te krijgen van de microplastics < 150 µm, is de monstername verder verfijnd. Dit heeft geleid tot proefopzet 2 t/m 4. Ook hierbij wordt een deel van het effluent afgetapt, dit wordt vervolgens verdeeld over twee verschillende meetstraten (Lijn a en lijn b), met in elke straat een of meer monsternamen methoden (zie schema in Figuur 10).

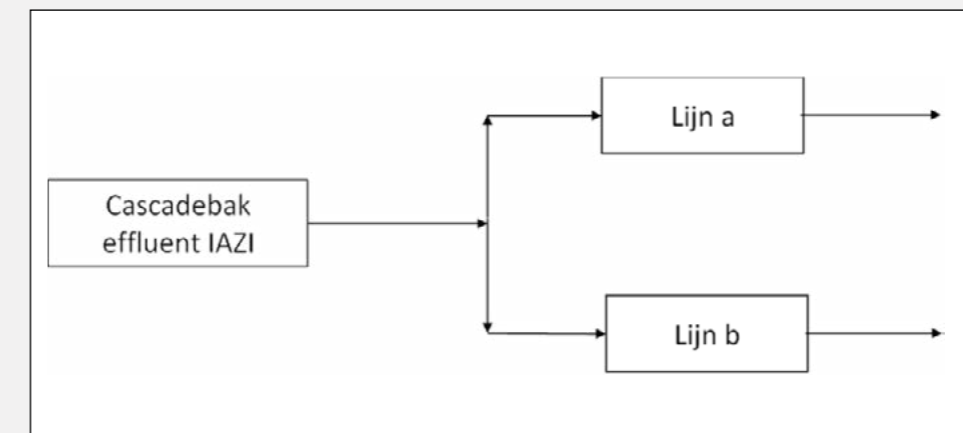


Figuur 8 Grote zeven

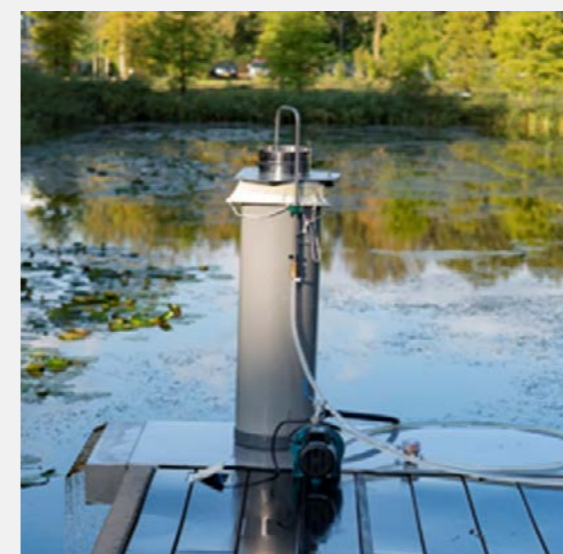


Figuur 9 Schematische weergave opstelling van opzet 1

Opzet 2a bestaat uit KWR-zeven (Figuur 11) gecombineerd met een hemoflow, een soort dialyse-apparaat (Figuur 12). De KWR-zeefcascade (aangeduid als 'KWR-zeven') is een stapel zeven van 20 cm diameter, met maaswijdtes tot 20 µm. Het gezeefde water wordt na passeren van de zeefcascade door een hemoflow gepompt om, eenmalig, ook deeltjes < 10 µm te bemonsteren. Om te voorkomen dat de hemoflow verstopt raakt, is onder de kleinste zeef een net met een maaswijdte van 10 µm bevestigd. Figuur 13 toont de opstelling van opzet 2a, opgesteld naast de cascadebeluchttingsbak van de Integrale Afvalwater Zuivering Installatie (IAZI).



Figuur 10: Schematische weergave opstelling van opzet 2 t/m 4



Figuur 11 KWR-zeven (KWR-zeefcascade)



Figuur 12 Opstelling met hemoflow (KWR)

Opzet 2b bestaat uit een zogenaamde sedimentkist (Figuur 14), zoals deze ook gebruikt wordt door Rijkswaterstaat, waar het water langzaam doorheen stroomt en deeltjes naar de bodem kunnen zakken. In opzet 2b is achter de sedimentkist een identieke zeefcascade als in opzet 2a geplaatst (KWR-zeven) om te monitoren of deeltjes de sedimentkist passeren.

In opzet 3a is een eigen set zeven gebruikt. Om bij de IAZI ook zelfstandig de monsternamen uit te kunnen voeren is een eigen set zeven aangeschaft met, op advies van KWR, een iets grotere diameter (30 cm) aangegeven als 'IAZI-zeven'. In opzet 4 zijn in een andere configuratie dezelfde zeven gebruikt.

In opzet 3b is nogmaals de sedimentkist (Figuur 14) getest, nu zonder nageschakelde zeefcascade.

In opzet 5 is nog eenmaal de combinatie van KWR-zeven (Figuur 11) en hemoflow (Figuur 12) getoetst, om de meting van opzet 2a te kunnen herhalen. Voor dit experiment is effluent afgetapt en naar KWR vervoerd voor het zeven van het effluent. De meetmethode van opzet 2a en opzet 5 zijn hiermee identiek, maar de monsternamen zijn anders.



Figuur 13 Opzet 2a naast de cascadebak (links) en in meer detail de zeven boven op een vat met een 10 µm net (rechts)

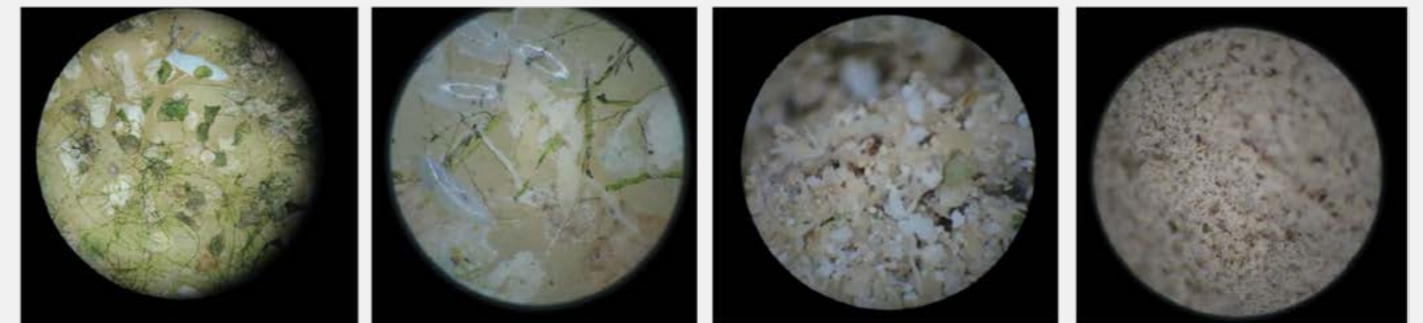


Figuur 14 Sedimentkist (onderdeel van opzet 2b en 3b)

5. Resultaten

Belangrijk om op te merken is dat er in het afvalwater allerlei vaste stof zit: restjes van de bacteriën uit de biologische zuivering, kalkdeeltjes, zand en soms zelfs eendenkroos en rode wormpjes (chironomidae larven). Bovendien is geen dag hetzelfde op Chemelot, de hoeveelheid en samenstelling van het afvalwater dat van de fabrieken naar de afvalwaterzuivering toekomt is elke dag anders. Tenslotte is de methode om plastics te analyseren nog in ontwikkeling, te zien aan de nog wisselende aanpak van de metingen. Bovendien is het niet eenvoudig lage concentraties microplastics nauwkeurig te analyseren. De gepresenteerde resultaten zijn daarom vooral een indicatie van de hoeveelheid aanwezige microplastics. Door te blijven meten zal er in de loop van de tijd een steeds beter beeld ontstaan van de hoeveelheid microplastics in het effluent.

Figuur 15 toont microscoopfoto's van metingen uit 'opzet 5'. Het materiaal is afkomstig van verschillende zeven van KWR, waarin de vaste stof opgevangen is. Er zijn naast kunststof korreltjes en vezels, ook algen, zand en kalk aanwezig.



Figuur 15 Microscoopfoto's van de KWR-monsters genomen in oktober 2023. Van links naar rechts: > 1.000 µm (vergroting 1,0x); 1.000 - 500 µm (vergroting 4,5x); 500 - 150 µm (vergroting 4,5x) en 53-10 µm (vergroting 4,5x)

Nadat de zeefresten geanalyseerd zijn op microplastics, kan de hoeveelheid microplastics in het geanalyseerde effluent worden omgerekend naar een indicatieve hoeveelheid microplastics die per jaar door Chemelot op de Maas geloosd wordt. Figuur 16 toont de resultaten van deze berekening, op basis van de metingen die met de grote zeven zijn uitgevoerd (opzet 1). De gemiddelde jaarlijkse vracht (2020-2023) aan microplastics is 2.500 ±1.900 kg/jaar. Zoals te zien is, variëren de resultaten sterk, tussen 533 - 8.932 kg/jaar, en de getallen moeten daarom ook als een eerste indicatie gezien worden van de geloosde vracht aan microplastics. Vandaar dat we op andere plaatsen in dit rapport steeds spreken over circa 3.000 kg per jaar. Deze grote variatie is te verklaren uit de nauwkeurigheid van de monsternamen, de nauwkeurigheid van de analyse en de daadwerkelijke variatie in het effluent. Het is goed om op te merken dat de analysemethode zich gedurende de meetjaren heeft ontwikkeld, waarbij steeds meer types plastic aangetoond en gekwantificeerd kunnen worden. De validatie van de analyse loopt nog.

Als we deze hoeveelheid vergelijken met de hoeveelheid microplastics die met zwevende stof via de Maas jaarlijks Nederland binnenkomt (200.000 kg/jaar)⁶, dan lijkt Chemelot met minder dan 2% hieraan een beperkte bijdrage te leveren.

De vrachten tonen sinds de start van de metingen in 2020 een dalende trend. Deze trend is mogelijk te verklaren uit aanpassingen in de operatie van plastic producerende/verwerkende bedrijven op Chemelot.

Naast de serie metingen met de grote zeven (opzet 1) zijn in 2023 metingen uitgevoerd met de kleinere zeven (KWR- en IAZI-zeven), sedimentkist en hemoflow (opzet 2 t/m opzet 5) om erachter te komen welke methode voor Chemelot het meest geschikt is. Deze metingen zijn nog niet afgerond, een conclusie over de juiste aanpak vraagt om meer data.

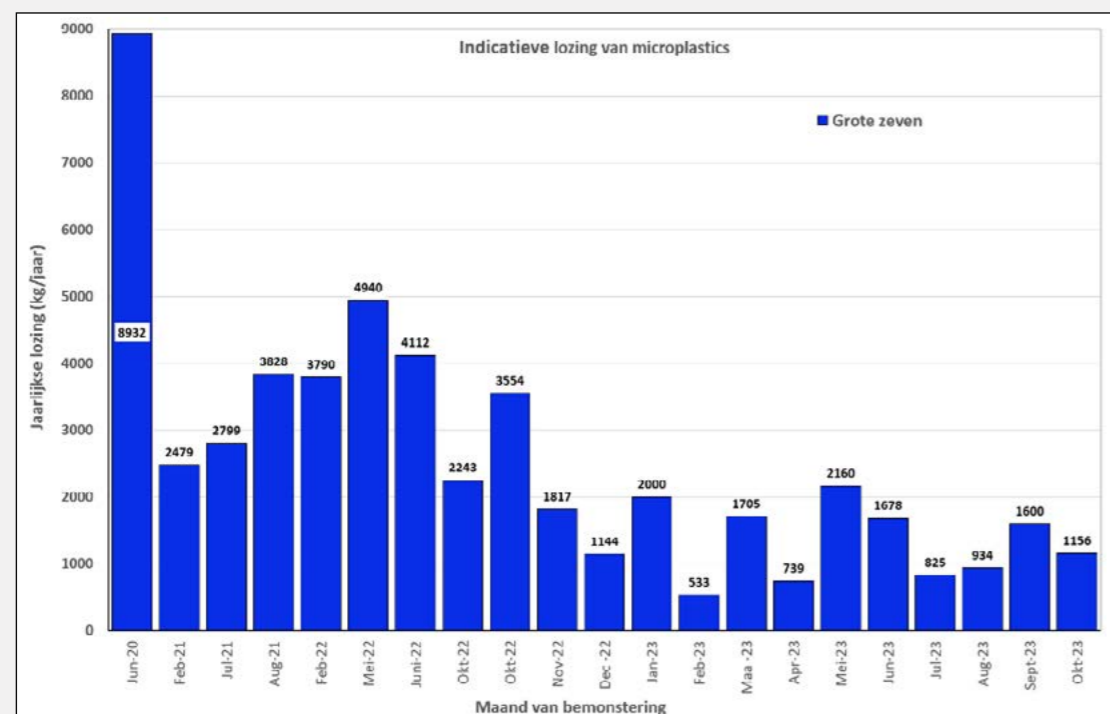
Figuur 17 toont de jaarlijks geloosde hoeveelheid microplastics die tot nu toe met de verschillende meetmethoden bepaald zijn. De verschillende meetmethoden geven in juli redelijk vergelijkbare resultaten, maar vooral in augustus en oktober zijn grote variaties zichtbaar. Dit is vermoedelijk een reflectie van de meetnauwkeurigheid. Dit vermoeden wordt gesteund, doordat de metingen in oktober met de KWR-zeven en de IAZI-zeven,

de resultaten zijn van monsters die op dezelfde dag genomen zijn. Een eerste conclusie uit deze resultaten is dat het inzetten van de sedimentkist voor het IAZI-effluent geen representatief beeld geeft van de aanwezige microplastics: in beide meetseries wordt in de sedimentkist te weinig materiaal gevangen. In de meting van juli valt de sedimentkist zelfs weg in de grafiek. In het vervolg zal daarom gebruik gemaakt worden van zeven.

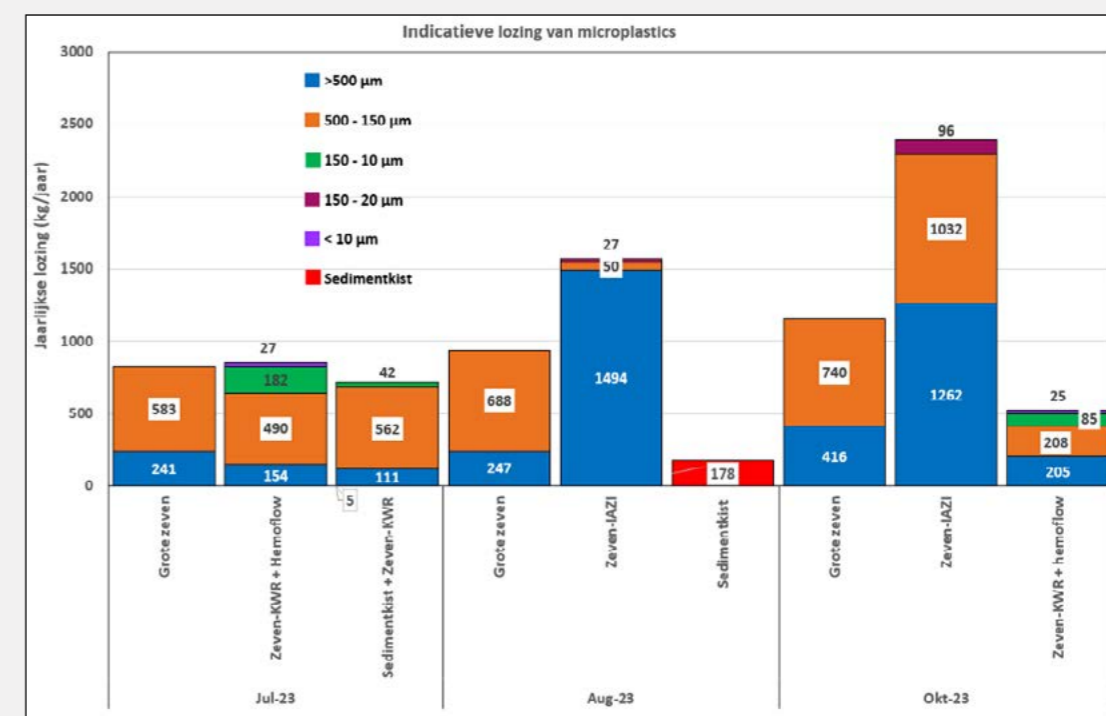
Een tweede conclusie die uit deze figuur getrokken kan worden is dat de grootste hoeveelheid microplastics te vinden is in de fracties > 150 µm, waardoor resultaten van opzet 1, de serie met de grote zeven en het grootste aantal metingen, gebruikt kan worden als indicatie voor de jaarlijkse lozing. Tenslotte blijkt dat er een verwaarloosbare massa aanwezig is in de fractie < 10 µm, die gemeten wordt met de hemoflow. Voor toekomstige metingen kan dus gefocust worden op de fracties die met een zeefcascade goed te meten zijn.

De hierboven gepresenteerde figuren laten de totaalvracht aan microplastics per jaar zien. De microplastics die in de grootste hoeveelheden aangetroffen worden zijn PP en PE (HDPE, LDPE en LLDPE). Andere polymeren, die in een of meerdere monsters aangetroffen zijn, maar in te kleine hoeveelheden om te kunnen kwantificeren zijn: PET, UHMWPE, PA, PA6, PA4,6, PA66, NR, EVA, PVB, PVC en EPDM. De verwachting is dat het in de meeste gevallen om zeer kleine hoeveelheden gaat, ook omdat deze polymeren slechts af en toe gedetecteerd werden. Verdere ontwikkeling en validatie van de analysemethode zal hier in de toekomst meer inzicht in kunnen geven.

Samenvattend laten de resultaten van de metingen zien dat de totale hoeveelheid geloosde microplastics varieert en dat Chemelot jaarlijks circa 3.000 kg microplastics loost naar de Maas. Dit staat gelijk aan minder dan 2% van de hoeveelheid plastics die volgens RWS met de Maas Nederland binnenkomt.⁶ De meetresultaten moeten als indicatief worden beschouwd, omdat zowel de monsternamen als de analyse nog in ontwikkeling zijn. We bevinden ons in de beginfase van het in beeld brengen van de situatie rond microplastics, de betrouwbaarheid zal toenemen naarmate ervaring wordt opgebouwd en normen beschikbaar komen.



Figuur 16: Indicatie van jaarlijks geloosde hoeveelheid microplastics op basis van zeefanalyses (opzet 1)



Figuur 17 Vergelijking van ingezette meetmethoden, zie ook tabel 1

Deel C: Microplastics in de leefomgeving

- In dit deel:
- Plastics behouden hun functionele eigenschappen jarenlang, de keerzijde daarvan is dat plastic langzaam afbreekt in alsmaar kleinere plastic deeltjes; zogenaamde microplastics.
 - Volgens een ruwe schatting komt een hoeveelheid van 3 miljoen kg microplastics per jaar met de Rijn en de Maas Nederland binnen, waarvan 200.000 kg via de Maas.
 - Over de gezondheidsrisico's van microplastics is nog veel onduidelijk. De risico's lijken nu nog niet groot, maar het is van belang de emissies van plastic afval naar het milieu naar de toekomst toe te beperken.
 - Er bestaat nog geen Europese en Nederlandse wetgeving die alomvattend op microplastics van toepassing is, wel zijn er verschillende specifieke wetten met deeldoelstellingen.
 - Chemelot is de eerste grote chemiesite die het nieuwe Nederlandse vergunningenproces heeft doorlopen.

6. Wat zijn microplastics en hoe en waar komen ze in het milieu terecht?

Microplastics zijn overal om ons heen te vinden en in toenemende mate ook in het milieu. Sinds plastics begin jaren '50 van de vorige eeuw op de markt kwamen zijn we steeds meer plastics gaan gebruiken. Plastics zijn synthetische polymeren met unieke en voordelige eigenschappen. Ze onderscheiden zich door hun lichtheid, duurzaamheid en vormbaarheid, waardoor ze inmiddels aanwezig zijn in veel van onze dagelijkse producten. Plastics behouden jaren hun functionele eigenschappen, de keerzijde daarvan is dat plastic langzaam afbreekt in alsmaar kleinere plastic deeltjes; zogenaamde microplastics.

6.1 Wat zijn microplastics?

Microplastics zijn vaste plastic deeltjes, kleiner dan vijf millimeter, in allerlei vormen en afmetingen.⁷ Er zijn grote variaties in polymeertype, grootte en vorm.

Microplastics zijn in toenemende mate in het milieu – en ook in ons lichaam – te vinden. Deze minuscule deeltjes zijn afkomstig van bijvoorbeeld verpakkingen of autobanden en verspreiden zich via de lucht, het water en de bodem. Er wordt onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire microplastics.

- Primaire microplastics worden bewust gemaakt. Dit zijn de microplastics die vanwege hun functionaliteit bewust worden toegevoegd aan producten als cosmetica (tandpasta, scrubs, glitter), (industriële) schoonmaakmiddelen, zaden, verf en coatings. Maar ook de pellets die als tussenproduct voor de productie van plastics gemaakt worden zijn primaire microplastics (Figuur 18). Tijdens de productie en het transport kunnen deze microplastics in het milieu terecht komen.
- Secundaire microplastics ontstaan door slijtage (van kleding en banden), degradatie (tijdens recycling) of veroudering van plastics. Zo kan zwerfafval in bermen, 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.⁸



Figuur 18 Plastic pellets, ook wel nurdles of plastic korrels genoemd, zijn de industriële grondstof voor alle plastic producten

6.2 Bronnen en hoeveelheden microplastics

De Europese Commissie schat dat er in de Europese Unie (EU) jaarlijks tussen de 0,7 - 1,8 miljard kg microplastics, oftewel 600 zwembaden van olympisch formaat, onbedoeld in het milieu terecht komen.⁹

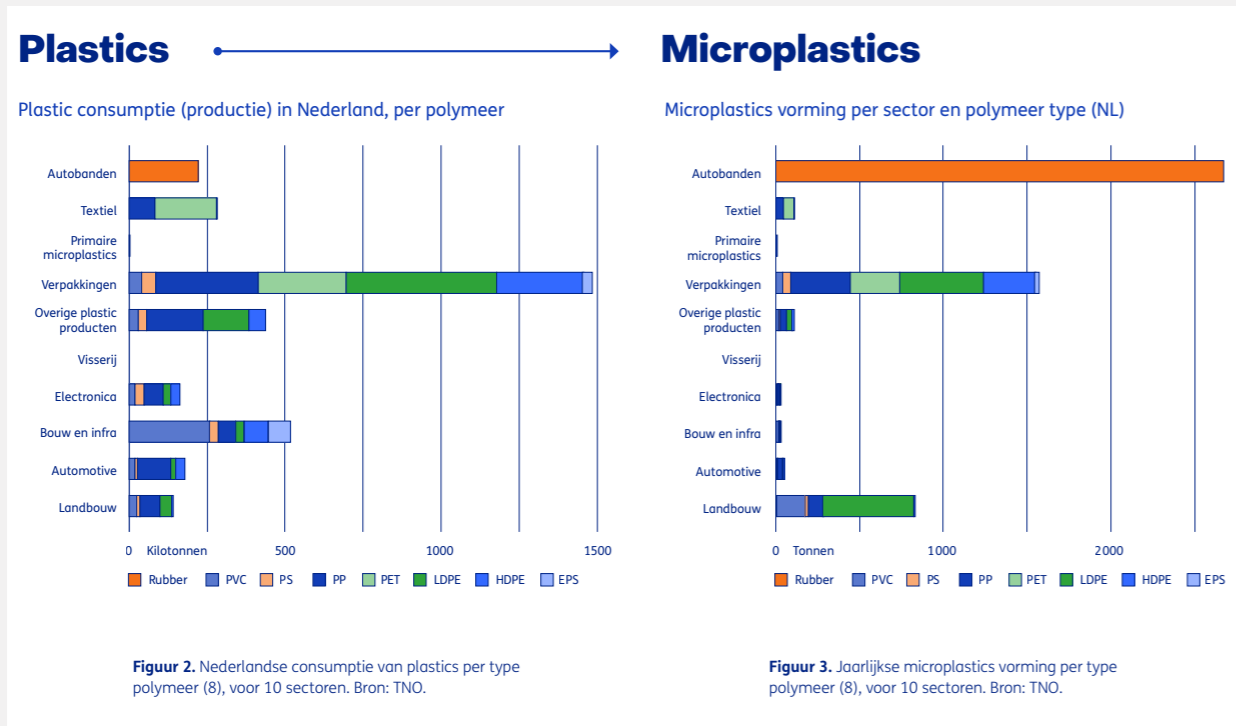
Het gebruik van plastic neemt toe en daarmee de hoeveelheid microplastics ook. Schattingen van de emissies van microplastics in Nederland zijn gebaseerd op een combinatie van beschikbare monitoringsgegevens en verspreidingsmodellen. Ze gaan gepaard met grote onzekerheden, vooral vanwege het ontbreken van monitoringsgegevens van specifieke bronnen. Daarnaast zijn er ook onzekerheden als gevolg van variatie in productkwaliteit, gedrag van consumenten, geografie, weer, infrastructuur en hydrologie.¹⁰ De hoeveelheid microplastics die jaarlijks in het milieu terecht komt, bestaat voor het grootste deel uit secundaire microplastics. Het aandeel secundaire microplastics ligt dan ook substantieel hoger dan het aandeel primaire microplastics.¹¹ Slijtage van banden (~35%), gevolgd door zwerfafval (met name verpakkingen) en gebruik van landbouwfolie zijn voor Nederland de voornaamste bronnen van microplastics. Denk bij zwerfafval aan folie, zakjes, pakjes en andere materialen die door de mens achtergelaten worden in de natuur en vaak in de bodem of water belanden en daar afbreken tot microplastics. Rubberbanden zijn de grootste bron van de jaarlijkse microplastics emissies in Nederland, terwijl rubber slechts 6% van de totale plastic consumptie bedraagt (218 kiloton (218 miljoen kg) rubber versus 3.400 kiloton (3,4 miljard kg) plastics). Dit komt door de grote mate van slijtage tijdens gebruik (Zie Figuur 19⁸).

Overige bronnen zijn onder andere: plastic halffabricaten (pellets en poeders). Elk jaar worden er grote hoeveelheden pellets geproduceerd en verwerkt (58,7 miljard kg in de EU in 2022). Uit schattingen blijkt dat er in 2019 in de EU tussen 52.140 ton en 184.290 ton pellets verloren zijn gegaan in het milieu. Dit komt overeen met 2.100 tot 7.300 vrachtwagenladingen pellets per jaar.¹²

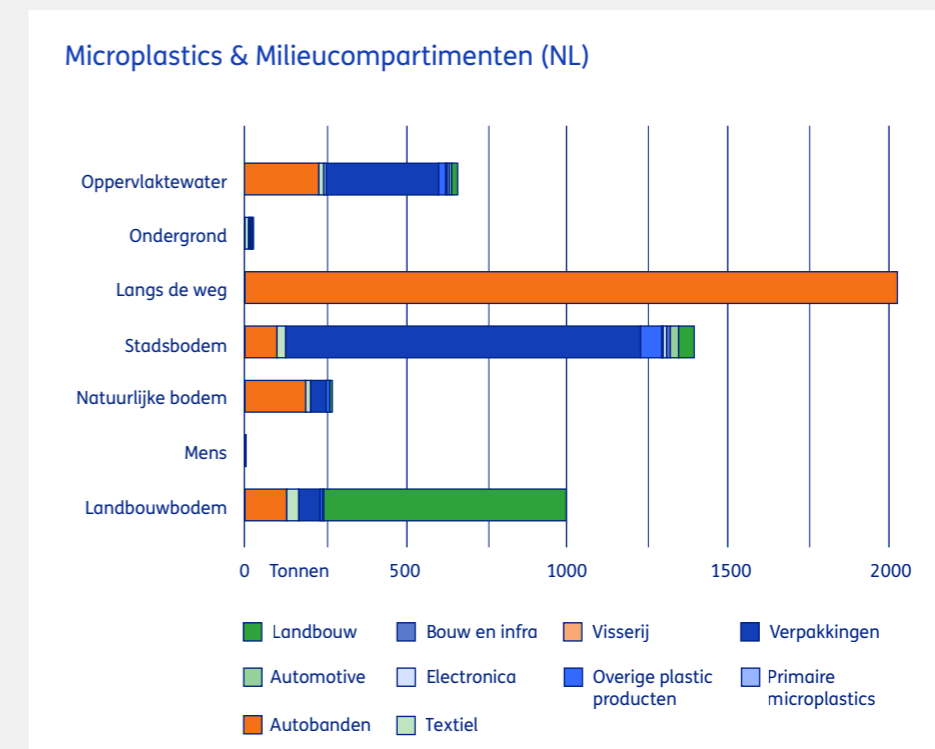
6.3 Waar komen microplastics terecht?

Rubber microplastics afkomstig van autobanden belanden voor een deel in de berm en blijven daar liggen. Een deel komt, zowel rechtstreeks als via het riool, in het oppervlaktewater terecht. Van de microplastics die vrijkomen door verkeer in stedelijke gebieden komt circa 15 tot 35% via het riool en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) in het oppervlaktewater terecht, door verkeer op snelwegen en in het landelijk gebied belandt circa 10% van de vrijgekomen microplastics rechtstreeks in het water.¹³ Microplastics afkomstig uit de landbouw en de verpakkingindustrie komen voornamelijk terecht in de bodem, doordat plastics aan het eind van het gebruik verkeerd afgevoerd worden. Zo worden bepaalde plastic producten niet opgeruimd maar achtergelaten in het milieu en vormen daar via degradatie microplastics.⁸

Gemiddeld wordt aangenomen dat ongeveer een kwart kg plastic afval per persoon per dag wordt geproduceerd, het meeste hiervan wordt ingezameld. Circa 2% van het plastic dat wordt geproduceerd, eindigt op straat als zwerfafval, waarvan 15 tot 40% weer via het oppervlaktewater in zee terecht komt.¹⁰ Voor textiel geldt dat microplastics ontstaan door slijtage tijdens gebruik, bijvoorbeeld door het wassen en drogen van kleding. Ze komen in de lucht terecht of in het riool. Wat verder opvalt is dat de ophoping van microplastics in (oppervlakte)water een ordegrrootte kleiner is dan de ophoping in de bodem (Figuur 20).⁸



Figuur 19 Links: Nederlandse consumptie van plastics per type polymeer, voor 10 sectoren. Rechts: Jaarlijkse microplastics vorming per type polymeer, voor 10 sectoren⁸



Figuur 20 Milieucompartimenten waar microplastics terechtkomen, onderscheid per sector⁸

Ophoping van microplastics

TNO geeft met behulp van een cumulatief Material Flow Analysis (MFA) model inzicht in de omvang van de problematiek en heeft twee scenario's doorgerekend voor de situatie in de toekomst.⁸ In het scenario 'Maximaal' (MAX) gaan ze uit van een min of meer gelijkblijvende groei van de consumptie van plastics (4% per jaar) en de evenredige emissie van microplastics. Dit is in overeenstemming met de projecties van de plasticindustrie die een groei van een factor 3 tot 4 voorspellen richting 2050.¹⁴ Verder zijn ze 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 'Productiestop' (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. Figuur 21 beschrijft de cumulatieve microplastics emissies 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 (130 miljoen kg) microplastics uit verpakkingen in Nederlandse berm, op akkers, stortplaatsen en meer. De figuur laat zien dat als we niets doen aan de zwerfafval, er een enorme toename van microplastics in het milieu is te verwachten.

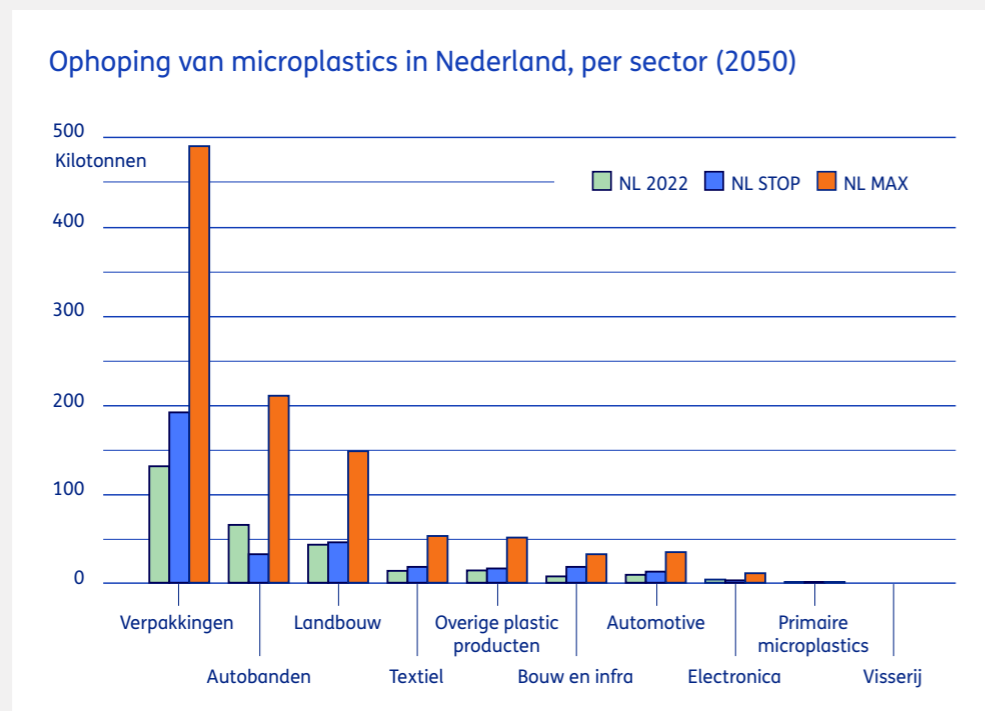


6.3.1 Microplastics in oppervlaktewater

Elk jaar verdwijnt zo'n 10 miljard kg plastic afval in zeeën en oceanen. Ongeveer 1% blijft aan de oppervlakte of net iets daaronder. De resterende 99% verdwijnt onder water en zinkt naar de zeebodem. Onderzoek laat zien dat microplastics niet gelijkmatig worden verspreid, maar door krachtige stromingen onder water op bepaalde plekken bijeen wordt gebracht.¹⁵ In 2015 toonde een studie aan dat de concentraties microplastics in de Rijn, een van de belangrijkste Europese rivieren, op gemiddeld 892.777 deeltjes per vierkante km uitkwam.¹⁶

Jaarlijks komt circa 14 miljoen kg microplastic in Nederlandse wateren terecht.¹⁷

Voor Nederland, met een uitgebreid netwerk van rivieren en kanalen, is de monitoring van microplastics in oppervlaktewateren zeer belangrijk. Daarom heeft Rijkswaterstaat sinds 2018 een beleidsprogramma op het gebied van microplastics. Het ontwikkelen van monitoringsstrategieën is een van de opdrachten. Helaas zijn er nog weinig meetgegevens beschikbaar over microplastics in rivieren, zeker als het gaat over massa microplastics. In een recent rapport van RWS wordt een ruwe inschatting gegeven van de hoeveelheid microplastics die met de Rijn en de Maas Nederland binnenkomt. In totaal is dat 3 miljoen kg per jaar, waarvan 200.000 kg via de Maas.⁶



Figuur 21 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 aan⁸

7. Impact van microplastics in het milieu

Microplastics worden wereldwijd in toenemende mate in het milieu gevonden en recent is aangetoond dat ze tot diep in ons lichaam kunnen doordringen. Over de gezondheidsrisico's van microplastics is echter nog veel onduidelijk.¹⁹ De risico's lijken nu niet groot te zijn, maar het is van belang de emissies van plastic afval naar het milieu naar de toekomst toe te beperken.²⁰ Het risico voor de gezondheid van de mens is nog grotendeels onbekend. Zo stelt de WHO dat 'het gewicht van het wetenschappelijke bewijs dat wordt geleverd door de huidige gegevens over de schadelijke effecten van microplastics op de menselijke gezondheid laag is, gezien de aanzienlijke beperkingen van de beschikbare informatie'.¹⁸

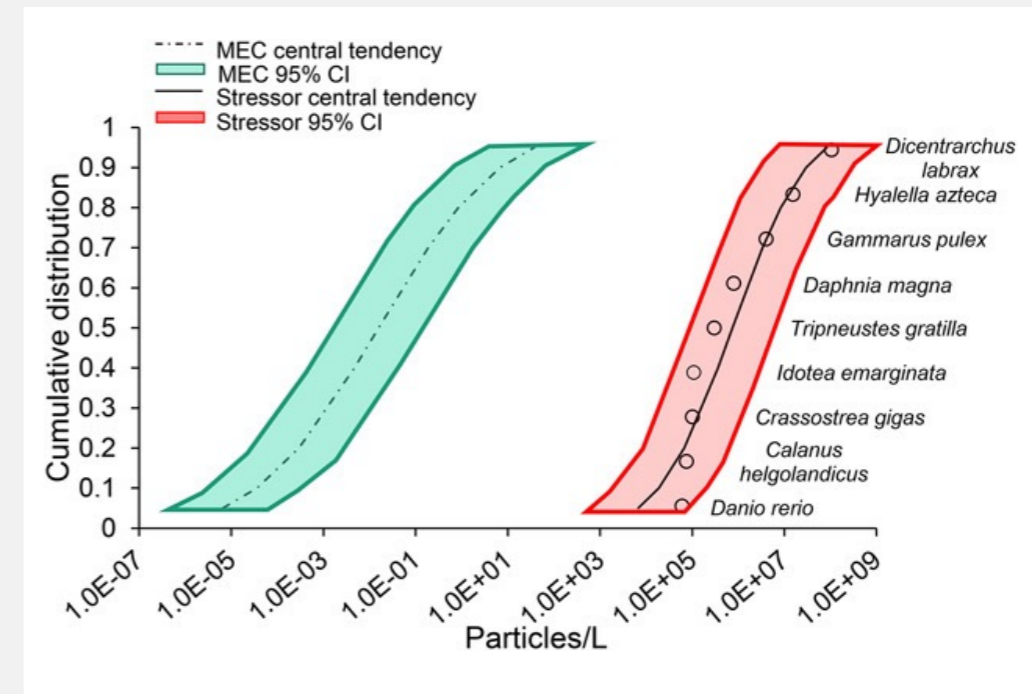
7.1 Waarom is het risico moeilijk in te schatten?

Op basis van de huidige wetenschappelijke informatie is het moeilijk om de risico's in te schatten die microplastics met zich meebrengen. Concrete gegevens ontbreken namelijk van de verschillende soorten plastics in het milieu, zoals:

- Wat is de samenstelling van die plastics?
- Hoe groot zijn de deeltjes?
- Welke micro-organismen/ additieven vind je op het plastic?
- Aan welke soort microplastics is het milieu precies blootgesteld en in welke mate?

7.2 Invloed op ecosystemen

Doordat plastics slecht afbreekbaar zijn, hopen ze zich op en verspreiden ze zich in het milieu, met mogelijke negatieve gevolgen voor het hele ecosysteem. Zo kunnen grotere stukken plastic (macroplastics) bij dieren darmblokkades of verstikking veroorzaken. Bijvoorbeeld zeevogels die plastic afval eten omdat het lijkt op hun voedsel. Microplastics hebben tevens invloed op planten en dieren. Bij waterdiertjes en algen, maar ook bij grotere dieren als mosselen en vis, kunnen plastic deeltjes invloed hebben op ademen, bewegen en voedselopname. Bovendien kunnen microplastics worden doorgegeven in de voedselketen.²¹ Hoewel het aantal artikelen over effecten van microplastics op in het water levende organismen in de laatste paar jaar exponentieel is toegenomen, is de voornaamste conclusie dat de resultaten voor risicobeoordeling nog nauwelijks bruikbaar zijn.²² Een eerste gedetailleerde studie naar risicobeoordeling van microplastics in het milieu toont echter dat de huidige risico's beperkt zijn. De gemeten milieuconcentraties (MEC; measured environmental concentration) komen (nog) niet in de buurt van de concentratie waarop microplastics effect hebben op diverse aquatische organismen (Figuur 22^{23,24}).



Figuur 22 Weergave van de aanwezigheid van microplastic deeltjes (linkerdeel in groen) versus het effect van deze deeltjes op in water levende organismen (rechterdeel in rood). Meeteenheid horizontaal: aantal deeltjes per liter^{23,24}

Gebrek aan (uniforme) meetmethoden

Het bepalen van de emissies van microplastics vanuit verschillende bronnen is lastig en met name het vaststellen van blootstellingsroutes is beperkt. De kennisleemtes liggen bij het monitoren en modelleren van het gedrag van microplastics in het milieu. Momenteel zijn vrijwel alle emissiegetallen gebaseerd op berekeningen en schattingen, omdat er nog geen gestandaardiseerde methoden bestaan om microplastics van alle verschillende soorten en maten goed te kunnen meten. Door het ontbreken van gestandaardiseerde methoden worden metingen van microplastics vaak uitgedrukt in uiteenlopende eenheden welke vaak niet eenvoudig om te rekenen zijn. Modellen zijn op hun beurt vaak gebaseerd op aannames, omdat de validatie door middel van monitoring nog nauwelijks mogelijk is.²⁵ Weergave van de aanwezigheid van microplastic deeltjes (linkerdeel in groen) versus het effect van deze deeltjes op in water levende organismen (rechterdeel in rood). Meeteenheid horizontaal: aantal deeltjes per liter^{23,24} Bovendien is er nog geen NEN-norm (Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut) die standaardiseert hoe er geanalyseerd wordt. Verschillende instituten werken er hard aan om deze standaard beschikbaar te maken.



7.3 Invloed op oppervlakte- en drinkwater

Er zijn twee routes waarop microplastics in het oppervlaktewater terechtkomen; direct en via het riool en de rioolwaterzuivering. Bij de rioolwaterzuivering komen microplastics binnen via het water dat van de weg het riool in stroomt en via huishoudelijk afvalwater. Tijdens het zuiveringsproces verwijderen de waterschappen veel (76–99%) microplastics uit het water. De microplastics die niet verwijderd kunnen worden, komen door lozing van het gezuiverde water alsnog in het oppervlaktewater terecht.²⁶

Hoe zit het met microplastics en ons drinkwater? Drinkwaterbedrijven Dunea en Waternet hebben onderzoek laten uitvoeren door het Waterlaboratorium (HWL). Er blijven gemiddeld 18 deeltjes microplastics groter dan 0,05mm per m³ (1.000 liter) in het water achter.²⁷

7.4 Gezondheidsrisico's voor de mens

Microplastics komen in ons lichaam via ons voedsel, drinkwater en de lucht. Omdat microplastics ophopen in ons milieu, zijn we waarschijnlijk steeds meer blootgesteld aan plastics. Microplastics zijn ook gevonden in fijnstof in de lucht. De lucht in huis bevat lage concentraties microplastics. Dit lijkt vooral uit textiel zoals kleding, tapijt en gordijnen te komen. Microplastics zijn gemeten in diverse voedingsmiddelen zoals vis, suiker, zout en honing. Maar ook in groenten, fruit, bier en drinkwater zijn microplastics aangetoond. Via plastic verpakkingsmateriaal voor levensmiddelen kunnen microplastics in ons voedsel komen.

Er is nog weinig bekend over de gevolgen van microplastics voor ons lichaam. Het is bijvoorbeeld nog niet duidelijk of de microplastic deeltjes zich tijdens ons leven in ons lichaam ophopen. Ook is onduidelijk in welke organen de microplastics vooral terechtkomen en wat het effect is van de stoffen die aan plastics worden toegevoegd of vastkleven.²¹ Mogelijk kunnen de fysische en chemische eigenschappen van microplastics op een viertal manieren toxiciteit veroorzaken in menselijke cellen:

- door schade te veroorzaken aan het celmembran;
- door oxidatieve stress in de cel;
- door het opwekken van een immuunrespons;
- door het toebrengen van schade aan het DNA (genotoxiciteit).²⁸

Duidelijk is dat nog veel onderzoek nodig is om de toxicologische effecten van microplastics in kaart te brengen. Sturend hierin zijn onderzoeken die zich richten op de mogelijke gezondheidseffecten door gecombineerde eigenschappen van microplastics, zoals bijvoorbeeld in het MOMENTUM-consortium²⁹ (een samenwerkingsverband tussen diverse Nederlandse universiteiten, onderzoeksinstituten en industrie) en het onafhankelijke Brigid-project³⁰ dat wordt gefinancierd door Plastics Europe.

8. Regulering van microplastics in het milieu

Er is onvoldoende informatie over de blootstelling aan en het effect van microplastics op mens en milieu om weloverwogen risicobeoordelingen te kunnen uitvoeren. Maar aangezien de hoeveelheid plastics toeneemt, en daarmee de hoeveelheid microplastics ook, wordt ingrijpen als noodzakelijk gezien om mogelijke toekomstige problemen, waaronder gezondheidsrisico's te voorkomen. 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.

8.1 Europese wetgeving

Er bestaat momenteel nog geen EU-wetgeving die alomvattend op microplastics van toepassing is. Wel is er de doelstelling om de uitstoot van microplastics in het milieu tegen 2030 met 30% te verminderen, zoals vastgesteld in het Zero Pollution Action Plan.⁹ Er zijn inmiddels verschillende specifieke wetten met deeldoelstellingen. Zo is er in oktober 2023 een wetsvoorstel ingediend ter voorkoming van het verlies van kunststofpellets om verontreiniging door microplastics te verminderen.³¹ Daarin wordt onder meer ingezet op een verplichte gestandaardiseerde methodologie om het verlies van pellets te meten en dwingende vereisten om het verlies van pellets in het milieu te voorkomen (certificering door een geaccrediteerde instantie). Samen met de beperkingen op opzettelijk toegevoegde microplastics die op 25 september 2023 zijn ingesteld³² (REACH, EU-wetgeving over chemische stoffen in producten) zijn dit de eerste EU-instrumenten die specifiek zijn ontworpen om de vervuiling door microplastics bij de bron aan te pakken.

De EU heeft de laatste jaren ook diverse regels en richtlijnen opgesteld om de effecten van plastic producten op het milieu te verminderen. Zo is sinds 3 juli 2021 de Europese Single Use Plastics-richtlijn (SUP)³³ van kracht, die het gebruik van eenmalig plastic voor producten als wattenstaafjes, plastic bestek, rietjes en roerstaafjes verbiedt. Daarnaast dienen lidstaten bijvoorbeeld maatregelen te treffen om ervoor te zorgen dat flessen voor eenmalig gebruik gescheiden worden ingezameld (77% in 2025, 90% in 2030), bijvoorbeeld met statiegeldregelingen.

Bovendien moeten volgens Europees recht voorzorgsmaatregelen worden genomen wanneer het vermoeden bestaat dat een nieuwe technologie of stof ernstige schade aan de gezondheid of het milieu kan toebrengen.³⁴

8.2 Nederlandse wetgeving

Nederland volgt dit voorzorgsprincipe en heeft de Europese ambitie omarmd. Bovendien steunt ons land additionele Europese wet- en regelgeving om vorming en verspreiding van microplastics te minimaliseren.³⁵

Zwerfafval is een belangrijke bron van microplastics. Maatregelen om zwerfafval terug te dringen, zorgen er tevens voor dat er minder microplastics in het milieu terechtkomen. Denk aan het verbod op de verkoop van bepaalde plastic wegwerpproducten, statiegeld op kleine plastic flesjes tot 1 liter en blikjes voor dranken en extra kosten voor het gebruik van plastic wegwerkbekers- en bakjes voor dranken en maaltijden voor onderweg. Maar ook moeten vissers minimaal 23% van het afval van vistuig inzamelen en betalen producenten van plastic producten die veel in het zwerfafval voorkomen de kosten voor het opruimen van (zwerf)afval.³⁶

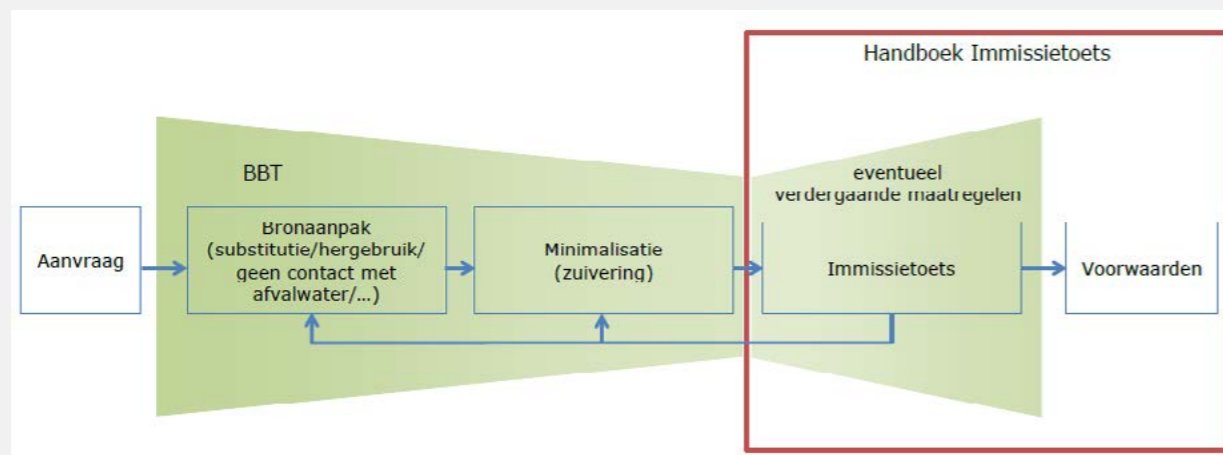
Tenslotte informeert de overheid autobezitters over het belang van de juiste bandenspanning en het kiezen van de beste band. Hierdoor ontstaan er minder microplastics door de slijtage van autobanden.³⁷

8.3 Wet- en regelgeving kwaliteit van oppervlakte- en grondwateren

De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een belangrijk Europees wetgevingskader dat tot doel heeft de kwaliteit van oppervlakte- en grondwateren in de EU te beschermen en te verbeteren. Deze richtlijn vormt de kern van het EU-beleid voor waterbeheer en heeft als doel om tegen 2027 een goede ecologische en chemische toestand te bereiken in alle Europese waterlichamen. Eén van de doelen is de waterkwaliteit te beschermen tegen vervuiling en de negatieve gevolgen daarvan voor het milieu en de menselijke gezondheid te verminderen.

De Europese regelgeving voor lozing op oppervlaktewater is in Nederland uitgewerkt in de Waterwet. De Waterwet gaat uit van een bronaanpak. Als er toch stoffen overblijven in het afvalwater dat geloosd wordt, dan wordt een zogenaamde immissietoets uitgevoerd, waarmee bepaald wordt welke concentratie van de stof vergund kan worden (Figuur 23). Om dit te bepalen wordt rekening gehouden met het water waarin geloosd wordt.³⁸

Omdat er nog geen normen zijn voor de hoeveelheid (micro)plastic die toelaatbaar is, is hiervoor ook nog geen norm opgenomen in vergunningen.



Figuur 23 Werkwijze immissietoets³⁸

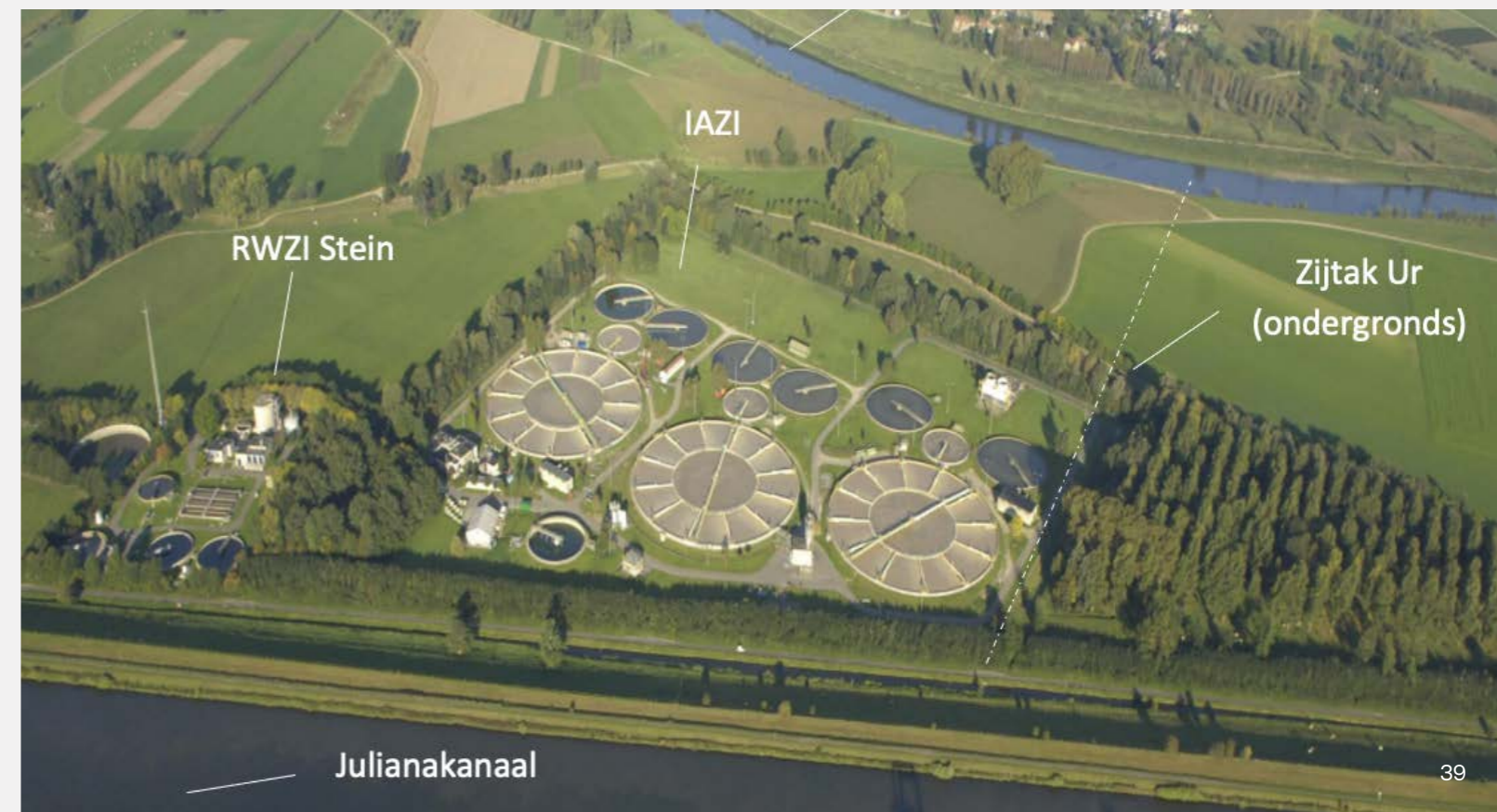
8.4 Watervergunning Circle Infra Partners

Chemelot haalt water uit het Julianakanaal en loost het na zuivering in een zijtak van de Ur, een beek die uitmondt in de Maas. Het stukje Maas waarop Chemelot via de zijtak Ur loost is beter bekend als de Grensmaas (Figuur 24). De Grensmaas is een circa 50 km lang onbevaarbaar deel van de Maas tussen Maastricht en Stevensweert en fungeert ook als natuurlijke grens tussen Nederland en België. Het unieke karakter van de Grensmaas, als enige grindrivier dat het Nederlandse grondgebied rijk is, zorgt ervoor dat de Grensmaas aangemerkt is als een gebied van groot ecologisch belang. Bepaalde delen zijn dan ook aangewezen als Natura-2000 gebied, waarbij bepaalde plant- en diersoorten beschermd dienen te worden.

Het beoordelen van de impact van de lozingen van Chemelot vanuit een vergunnings- en technisch perspectief gebeurt dan ook altijd rekening houdende met de eigenschappen van de Maas. Hierbij wordt een worst case benadering gebruikt, waarbij zelfs als er een laag debiet door de Maas stroomt de lozingen van stoffen door Chemelot geen drinkwater- of ecologische normen mogen overschrijden.

De Europese KRW-eisen vragen om een verdere verbetering van de waterkwaliteit en ontwikkeling van methoden om stoffen te kunnen meten en analyseren. Chemelot is de eerste grote chemiesite die het nieuwe Nederlandse vergunningenproces heeft doorlopen. Ruim 600 stoffen die vanuit de fabrieken naar de afvalwaterzuivering op Chemelot gaan, worden beoordeeld. In het verleden werden normen afgegeven voor stofcategorieën, in de huidige vergunning wordt op componentniveau gekeken. Daardoor is het aantal te meten stoffen met een factor twintig toegenomen.

Figuur 24 Integrale Afvalwater Zuivering Installatie (IAZI) van Chemelot en diens omgeving.



Deel D: Conclusie

9. Plastic verliezen gericht verder verminderen

Het is duidelijk dat plastics zijn uitgegroeid tot een belangrijk materiaal, waar we als maatschappij steeds meer van gebruiken; er wordt een groei van de plasticproductie van circa 4% per jaar verwacht. Meer plastics betekent ook dat er steeds meer microplastics in het milieu terecht kunnen komen. Hoewel de ernst en omvang daarvan nog niet goed bekend zijn, vormen microplastics in het milieu een potentieel risico voor de gezondheid. Het is dan ook zaak om te voorkomen dat microplastics in het milieu terechtkomen, ook Chemelot neemt hierin haar verantwoordelijkheid.

Chemelot is met een jaarlijkse productie van 2,3 miljard kg een van de belangrijkste productiesites van plastics in Nederland. Bij die productie komen ook (micro)plastics vrij, die uiteindelijk in het oppervlaktewater terecht kunnen komen. Hoewel de meetmethoden nog in ontwikkeling zijn heeft Chemelot de afgelopen jaren geprobeerd inzicht te krijgen in de hoeveelheid microplastics die met het gezuiverd afvalwater (effluent) mee stroomt naar de Maas. Indicatieve metingen geven aan dat dit om circa 3.000 kg per jaar gaat. In vergelijking met de 200.000 kg plastic die jaarlijks met de Maas Nederland binnenkomt is dit niet veel, maar ook niet verwaarloosbaar.

Met de recente meetresultaten is er voor het eerst een concrete indicatie van de hoeveelheid en de soorten van de microplastics die onbedoeld geloosd worden. Dit geeft aanknopingspunten om gericht mee aan de slag te gaan. Chemelot spant zich in om de bijdrage aan de emissie van microplastic verder te verlagen. De fabrieken proberen in alle fases van de processen actief de verliezen van microplastics te reduceren. Er is een heel palet aan maatregelen om de vrijgekomen (micro)plastics naar het milieu zover mogelijk te reduceren. Daarnaast blijft Chemelot inzetten op schoonmaakacties en bewustwording.

Chemelot heeft er alle vertrouwen in dat in de toekomst nieuwe stappen naar verdere reductie van emissies van microplastics kunnen worden gezet.

Referenties

- ¹ Rapportage voorschrift 36 'plastics', opgeleverd aan Waterschap Limburg, onderzoeksverplichting watervergunning
- ² <https://www.chemelot.nl/>
- ³ <https://brightsitecenter.com/bto-download/>
- ⁴ <https://plasticseurope.org/nl/wp-content/uploads/sites/6/2023/10/Plasticsthefastfacts2023-1.pdf>
- ⁵ <https://brightsitecenter.com/chemelot-also-includes-water-in-the-transition-to-circular/>
- ⁶ Op weg naar monitoring van microplastics in rivieren. Deel 3. Juni 2023. RWS CIV Ivo Freriks, Christa van Oversteeg en Henk Zemmeling
- ⁷ Towards a definition of microplastics (rivm.nl) | <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0116.pdf>
- ⁸ TNO rapport 2022. Microplastics zijn overall: reductie met 70% haalbaar
- ⁹ EU action against microplastics. European Union, 2023. doi:10.2779/917472
- ¹⁰ <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2019-06/Factsheet%20Microplastics%20in%20Nederlandse%20wateren.pdf>
- ¹¹ <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterkwaliteit/kennisimpuls-waterkwaliteit/microplastics>
- ¹² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0645>
- ¹³ <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0193.pdf>
- ¹⁴ World Economic Forum: The New Plastics Economy | https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf
- ¹⁵ Kan IA, Clare MA, Miramontes E, et al. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation. *Science* 2020;368(6495):1140-5
- ¹⁶ Mani T, Hauk A, Walter U, Burkhardt-Holm, P. Microplastics profile along the Rhine River. *Sci Rep* 2015;5: 17988. doi.org/10.1038/srep17988
- ¹⁷ Verschoor, A., de Valk, E. (2018). Potential measures against microplastic emissions to water. RIVM, Bilthoven, Nederland: Rapport nr. 2017-0193. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0193.pdf>
- ¹⁸ WHO 2022. Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608>
- ¹⁹ EFSA 2016. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal*, 14(6), e04501. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>
- ²⁰ SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies 2019. A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society. Berlin: SAPEA. <https://doi.org/10.26356/microplastics>
- ²¹ <https://www.rivm.nl/plastics/gevolgen-plastic-milieu>
- ²² De Ruijter, VN, Redondo-Hasselerharm PE, Gouin T, Koelmans AA. Quality Criteria for Microplastic Effect Studies in the Context of Risk Assessment: A Critical Review. *Environ Sci Technol* 2020;54(9):11692-705
- ²³ Burns EE, Boxall ABA. Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. *Environ Toxicol Chem* 2018;37(11):2776-96
- ²⁴ *Environ Toxicol Chem.* 2019 Mar;38(3):695. doi: 10.1002/etc.4356
- ²⁵ STOWA Deltafact// Verdiepende analyse van microplastics bronnen, emissies en een verkenning van mogelijke emissiebeperkende maatregelen
- ²⁶ <https://unievandwaterschappen.nl/waterkwaliteit/microplastics-in-water/>
- ²⁷ <https://www.drinkwaterplatform.nl/drinkwater-dunea-en-waternet-onder-de-loep-zitten-er-microplastics-in/>
- ²⁸ Banerjee A, Shelver WL. Micro- and nanoplastic induced cellular toxicity in mammals: A review. *Sci Total Environ* 2021;755:142518. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142518
- ²⁹ ZonMw. (2019). Wat doen microplastics in ons lichaam? Verkenning en kennisagenda rond microplastics en gezondheid. <https://www.zonmw.nl/nl/actueel/nieuws/detail/item/wat-doen-microplasticsin-ons-lichaam/>
- ³⁰ <https://plasticseurope.org/sustainability/plastics-health/microplastics/bridgid/>
- ³¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0645>
- ³² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4581
- ³³ https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/single-use-plastics_en
- ³⁴ Belanghebbenden bij het voorzorgsprincipe | Rathenau Instituut | <https://www.rathenau.nl/nl/kennisgedreven-democratie/belanghebbenden-bij-het-voorzorgsprincipe>
- ³⁵ Response from the Netherlands to the European Commission's public survey on Microplastics pollution – measures to reduce impacts on the environment | Rapport | Rijksoverheid.nl |
- ³⁶ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/afval/regels-voor-wegwerpplastic>
- ³⁷ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/afval/kunststofafval-in-zee-plastic-soep>
- ³⁸ Handboek Immissietoets. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/algemene-regels-lozingsroute-schema/systematiek-algemene/>

