

Microplastic emissie afkomstig van een droogdok

Robin Dzięśław

Scriptie voorgedragen tot het behalen
van de graad van
Master in de Nautische Wetenschappen
aan de Hogere Zeevaartschool

Promotor: Helen Verstraelen

Academiejaar 2023-2024

Woord vooraf

Beste lezer,

Deze thesis is tot stand gekomen uit mijn interesse voor microplastics in het mariene milieu. Na een gesprek met Professor G. Potters en mijn promotor, Professor H. Verstraelen, ben ik terechtgekomen bij het onderzoek naar microplasticvervuiling in droogdokken. [REDACTED]

Het uitvoeren van mijn onderzoek zou mij nooit gelukt zijn zonder de hulp van de volgende mensen, die ik graag in het bijzonder wil bedanken.

Mijn promotor Professor H. Verstraelen wil ik bedanken voor het beantwoorden van al mijn vragen, het geven van inzichten, het helpen oplossen van problemen en het verbeteren van mijn werk. [REDACTED]

[REDACTED] Professor G. Potters wil ik bedanken voor de begeleiding in het laboratorium van de universiteit en voor het helpen met vragen en bedenkingen.

Ten slotte wil ik mijn vriendin Joanne Den Toom bedanken voor het nakijken en verbeteren van mijn werk.

Veel leesplezier!

Robin Dzieslaw

Samenvatting

Microplastics vormen een belangrijke problematiek van de 21ste eeuw. Deze plastics zijn terug te vinden in producten variërend van schoonheidsproducten tot in verf. Mariene verf is een van de bijdragers aan de microplastic pollutie. Schepen moeten om de 3 - 5 jaar een droogdok aanlopen voor inspectie en onderhoud van de romp. Het verwijderen en aanbrengen van de marine coating brengt emissie van microplastics met zich mee. Dit maakt droogdokken een interessant onderwerp van onderzoek naar microplastics. In dit onderzoek is onderzocht wat de hoeveelheid microplastics is in het influent en effluent water van een droogdok tijdens bepaalde werkzaamheden. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Abstract

Microplastics are an important problem of the 21st century. These plastics can be found in products ranging from beauty products to paint. Marine paint is one of the contributors to microplastic pollution. Ships must visit a dry dock every 3 - 5 years for hull inspection and maintenance. Removing and applying the marine coating creates emissions of microplastics. This makes dry docks an interesting place for research into microplastics. This study investigates the amount of microplastics in the influent and effluent water of a dry dock during certain activities. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Inhoudstafel

Woord vooraf	i
Samenvatting.....	ii
Abstract	iii
Inhoudstafel	iv
Lijst van figuren	vii
Lijst van tabellen.....	ix
1. Inleiding	1
2. Plastic.....	3
2.1 Plastic soorten.....	3
2.2 Microplastics.....	4
2.3 Primaire microplastics en secundaire microplastics	6
2.4 De link naar microplastics.....	7
3. Verf.....	10
3.1 Bestandsdelen van verf.....	10
3.1.1 Bindmiddelen	10
3.1.2 Pigment.....	11
3.1.3 Hulp en vulstoffen	11
3.1.4 Oplosmiddelen	12
3.2 Mariene verf	12
3.2.1 Polymeren in marine verf	13
3.2.2 Antifouling	15
3.3 Emissie van mariene coatings.....	19
4. Droogdokken	25
4.1 Reden voor dokken van schepen	26
4.2 Uitgevoerde werkzaamheden aan het schip	26

4.2.1 Verwijderen van aangroei	27
4.2.2 Verwijderen van verf	28
4.2.3 Aanbrengen van verf.....	30
5. Gedrag van microplastics in het mariene milieu	32
6. Wetgeving rond microplastics.....	34
7. Methodologie	35
7.1 Onderzoeksdoel	35
7.2 Bemonsteringsgebied.....	35
7.3 Aandachtspunten	36
7.4 Procedure voor het analyseren van microplastics	37
7.5 Voorzorgsmaatregelen voor nemen van monsters.....	38
7.6 Monstername	38
7.6.1 Bulkbemonstering (in-lab)	39
7.6.2 Volume gereduceerde bemonstering (on-site)	39
7.6.3 Zeef.....	40
7.6.4 Monstername: de gekozen methode voor dit onderzoek	42
7.7 Reduceren van de monsters	45
7.8 Voorbehandeling	45
7.8.1 Voorbehandeling met base	46
7.8.2 Voorbehandeling via oxidatie	47
7.8.3 Voorbehandeling met zuur	47
7.8.4 Voorbehandeling met enzymen.....	48
7.8.5 Voorbehandeling via dichtheitscheiding	48
7.8.6 Keuze voorbehandeling onderzoek.....	49
7.9 Identificatie	49
7.9.1 Keuze analysemethode.....	50
7.10 Onderzoeksobject	53

9. Discussie	71
10. Conclusie	74
11. Bibliografie	75

Lijst van figuren

Figuur 1. Thermoplasten (links) met zwakke intermoleculaire krachten tussen de polymeerketens, thermoharders (rechts) met sterke atoombinding.....	3
Figuur 2. Afmetingen van een microplastic deeltje in verschillende studies.	5
Figuur 3. Voorbeelden van primaire en secundaire microplastics.	6
Figuur 4. Vergelijking tussen verf en conventionele plastics.....	9
Figuur 5. Foto van (a) algen, (b) anemonen, (c) zeepokken, (d) mossels.	16
Figuur 6. Flowchart die weergeeft welke problemen aangroei kan teweeg brengen.	17
Figuur 7. Bronnen van mariene coating emissie met de oorzaken en locatie.....	20
Figuur 8. Vergelijking microplastics emissie van verf met andere studies.	21
Figuur 9. Emissie van verschillende mariene verf toepassingen.	22
Figuur 10. Plaatsen waar mariene verf pollutie vandaan komt.	23
	
Figuur 12. Emissie van mariene coating tijdens verschillende processen.	27
	
Figuur 14. Gebruik van een airless spray systeem met overspray.	30
Figuur 15. Densiteit van verschillende plastic soorten en verf.	33
	
	
Figuur 18. Stappenplan voor het meten van microplastic monsters.	38
Figuur 19. Gebruikte maaswijdte bij verschillende onderzoeken naar microplastics in afvalwaterzuiveringsinstallaties.	41
Figuur 20. Transparante buis voor filteren microplastics.	44
Figuur 21. Neubauer tel plaatje met afmetingen.....	51
	
	
	
	
	
	
	
	

[REDACTED]

Lijst van tabellen

Tabel 1. Bindmiddelen met voorbeelden van toepassingsgebied.....	11
Tabel 2. Vergelijking van antifoulings met biociden en geen biociden.....	18
Tabel 3. Voor en nadelen van een base voorbehandeling.	46
Tabel 4. Voor en nadelen van een oxidatie voorbehandeling.....	47
Tabel 5. Voor en nadelen van een voorbehandeling met zuur.	47
Tabel 6. Voor en nadelen van een Enzymen voorbehandeling.	48



1. Inleiding

Plastic is ondenkbaar uit onze samenleving, zo heeft het veel voordelen waaronder een lange levensduur en lage productiekosten (RIVM, 2023). Gemiddeld wordt er meer dan 400 miljoen ton plastic per jaar geproduceerd, twee derde ervan is gebruik voor korte termijn (Yinuo, 2023). Een nadeel van plastic is dat deze in de natuur terecht komt, het vertegenwoordigt 85 % van het mariene afval (Yinuo, 2023). Plastic valt door verwerking of bewerking uiteen in microplastics, of deze microplastics worden zelfs direct in het milieu geloosd. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten microplastic, dit zijn de primaire en secundaire microplastics. Microplastics zijn moeilijk te herkennen met het blote oog maar kunnen wel een negatieve impact hebben op sociaal, economisch en ecologische aspect (Boucher & Friot, 2017). Zo identificeren Boucher & Friot zeven bronnen als belangrijke bijdragers aan microplastic vervuiling naar het milieu toe, namelijk de volgende:

- Banden van voertuigen;
- Synthetisch textiel;
- Mariene verf;
- Wegmarkeringen;
- Verzorgingsproducten;
- Plastic pellets;
- Stof afkomstig van steden.

Zo bevatten sommige mariene verven synthetische polymeren die in het milieu kunnen terechtkomen door blootstelling aan uv-licht en mechanische verwijdering veroorzaakt door schade tijdens gebruik, slijtage, onderhoud van de verflaag en het verwijderen van de verf (Turner, 2021). Volgens de studie van Sundt et al (2014), zijn er een opmerkend aantal microplastics terug te vinden in de buurt van scheepswerven en droogdokken. Alhoewel er in commerciële scheepswerven en droogdokken waterzuiveringsinstallaties zijn aangebracht is de efficiëntie ervan onbekend (Brännström et al., 2023). Dit wordt ook bevestigd door IMO (2019), er is een *data gap* omtrent emissie van microplastic door activiteiten die plaatsvinden in droogdokken en scheepswerven. Het doel van deze thesis is om een antwoord te vinden op deze *data gap*. De centrale vraag die hierbij gesteld wordt, luidt als volgt: Wat is de hoeveelheid

microplastic deeltjes afkomstig van verschillende werkzaamheden in een droogdok
[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] voor als na de
waterzuiveringsinstallatie? Dit roept tevens de volgende vragen op:

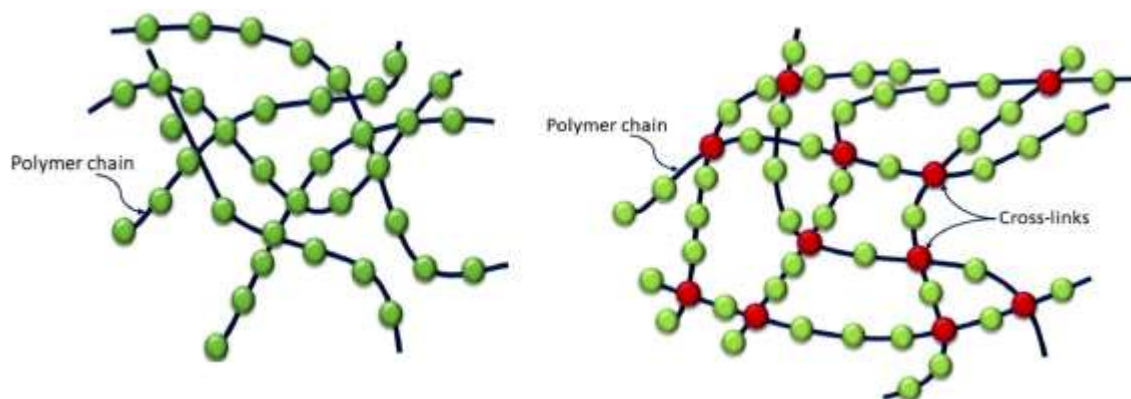
- Wat is de efficiëntie van de bestaande waterzuiveringsinstallatie met betrekking tot het filteren van microplastic?
- Wat is het verschil in hoeveelheid microplastic emissie tijdens het afspuiten van de romp vergeleken met de opkuis van het straalgrit?
- Zijn er mogelijke andere bronnen en activiteiten buiten het afspuiten en opkuisen van de onderzochte schepen die bijdragen aan microplastic vervuiling aan het [REDACTED] en zo ja, welke?

2. Plastic

2.1 Plastic soorten

De term plastic dekt een grote groep van synthetische en of semisynthetische materialen die gebruikt worden om het leven schoner, veiliger en gemakkelijker te maken. Plastic is gemaakt van synthetische polymeren. De grondstoffen waarvan plastic vervaardigd is, zijn koolwaterstoffen zoals fossiele brandstoffen, kolen, gas, aardolie en soms zelfs zout of cellulose (Reichelt-Brushett, 2023).

Polymeren zijn onderverdeeld in twee groepen, namelijk thermoplasten en thermoharders. Thermoplastisch materiaal wordt zacht bij opwarming en verhardt weer als het afkoelt. De atomen en moleculen van thermoplasten bestaan uit lange en korte koolstofketens die onafhankelijk van elkaar werken (Figuur 1). Een voorbeeld hiervan is polyethyleen terephthalate (PET) dat gebruikt wordt in kledij en voor verpakkingen van voedingswaren. Thermoharders zijn driedimensionale verknoopte structuren (Figuur 1) die niet smelten of verzachten tijdens opwarming. Dit heeft als resultaat dat het materiaal zijn vorm behoudt, zelfs bij hoge temperaturen. Voorbeelden van thermoharders zijn polyurethaan (PU), epoxy, polyester en phenol formaldehyde (PF) (Kazemi et al., 2021).



Figuur 1. Thermoplasten (links) met zwakke intermoleculaire krachten tussen de polymeerketens, thermoharders (rechts) met sterke atoombinding (Kazemi et al., 2021).

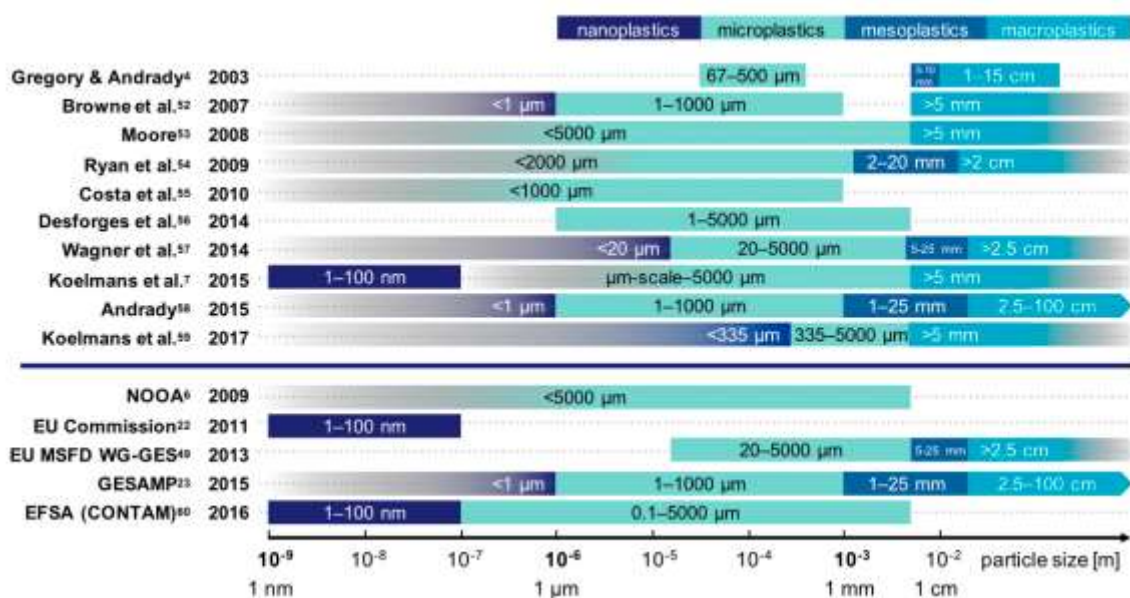
2.2 Microplastic

In 2024 is er nog geen wereldwijde consensus over wat de exacte definitie van een microplastic is (Lee et al., 2023; Vercauteren et al., 2023). In 1970 werd er voor het eerst gesproken over kleine plastic fragmenten in de oceaan. De term microplastic is voor het eerst gebruikt in 2004. Deze term beschrijft de verzameling van fragmenten plastic die slechts enkele microns in diameter groot zijn (Napper & Thompson, 2020). Thompson et al. (2004) kwantificeerden in hun studie microscopische plastics van ongeveer 20 μm in diameter. De afmeting van een microplastic varieert in verscheidene studies, zo zeggen Huang et al. (2023) dat een plasticfragment gekwalificeerd wordt als microplastic als de deeltjes kleiner zijn dan 5 mm in diameter met als referentie de studie van Thompson et al. (2004). De vraag is wat de onderbouwing is voor de diameter van 5 mm en waarom dit verschilt van de afbakening van microplastics zoals vermeld in Thompson et al. (2004).

In 2008 vond de workshop “on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastics Marine Debris” plaats in de Universiteit van Washington, Tacoma campus. De bedoeling van deze workshop was om verschillende onderzoekers van heel de wereld bijeen te brengen. Tijdens deze workshop werd de impact van microplastics op mariene soorten kritisch besproken. Voor de definitie van een microplastic kwamen de deelnemers van de workshop overeen dat de afmetingen van deze plastic deeltjes kleiner zijn dan 5 mm. De afmeting van maximaal 5 mm is gekozen om de discussie op mogelijke ecologische effecten te focussen anders dan de verstopping van maag- en darmkanaal. Een ander belangrijk element is dat er geen ondergrens is vastgelegd. In onderzoeken is de ondergrens vaak 333 μm omdat dit een vaak voorkomende afmeting is van de maasgrootte van netten tijdens monsterafnames (Arthur et al., 2009).

Ook binnen de categorie ‘microplastics’ worden verschillende subcategorieën gebruikt door onderzoekers. Zo maakte de European MSFD Working Group on Good Environmental status (EU MSFD WG-GES) in 2013 een onderscheid tussen grote microplastic deeltjes met een bereik van 1 tot 5 mm en kleine microplastic deeltjes met een bereik van 20 μm tot 1 mm. De reden voor deze afmetingen is dat in studies de maaginhoud van zeevogels gezeefd wordt met een zeef van 1 mm. De limiet van 20 μm is gebaseerd op het detectiebereik van een Fourier-transformatie infraroodspectroscopie (FT-IR) apparaat (Verschoor, 2015). Zo maakt de

Internationale Organisatie van Standaardisatie (ISO) ook onderscheid tussen grote microplastic deeltjes en gewone microplastic deeltjes. De laatste heeft volgens deze organisatie een bereik van 1 μm tot 1 mm (ISO, 2023). Figuur 2 geeft duidelijk de verschillende of gelijkaardige afmetingen weer die gebruikt zijn om de grootte van een microplastic te definiëren (Vercauteren et al., 2023). Er is uit op te merken dat in de opgesomde studies enige verschillen zijn tussen gedefinieerde afmetingen van een microplastic deeltje. Toch valt de meerderheid van de definities binnen een maximum grootte van 5 mm en een minimumwaarde van 1 μm .

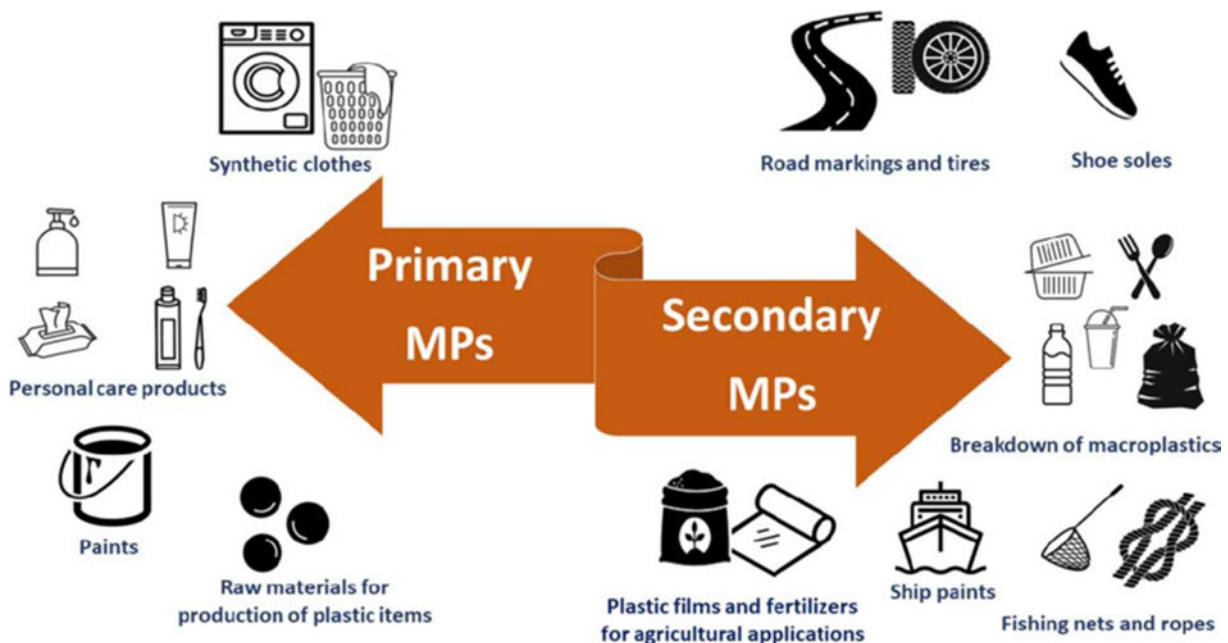


Figuur 2. Afmetingen van een microplastic deeltje in verschillende studies (Vercauteren et al., 2023).

Voor dit onderzoek is een minimumwaarde van 1 μm en een maximumwaarde van 5 mm van toepassing op de afmeting van een microplastic deeltje. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen grote en kleine microplastic deeltjes zoals in de studie van EU MSFD en ISO, omdat dat voor deze scriptie niet relevant is aangezien er niet gekeken wordt naar de impact van de microplastics, enkel naar de aanwezigheid ervan. Recentere studies zoals die van Thacharodi et al. (2024) en Erni-Cassola et al. (2024), hanteren ook voor de afmetingen van 1 μm en 5 mm.

2.3 Primaire microplastics en secundaire microplastics

Microplastics zijn onderverdeeld in 2 groepen: de primaire en secundaire microplastics. Het verschil tussen deze twee ligt bij de oorsprong van het deeltje (Egmond et al., 2021). Primaire microplastics zijn bewust geproduceerde producten voor een toepassing in een product. Voorbeelden hiervan zijn verzorgingsproducten zoals scrubs en tandpasta, maar ook wegenvverf en verf van schepen (Vercauteren et al., 2023). Secundaire microplastics zijn afkomstig van de slijtage en verwerking van grotere plastic producten die in de natuur terecht komen, zoals bijvoorbeeld plastic flessen en tassen. Secundaire microplastics kunnen ook afkomstig zijn van gebruiksslijtage van polymeerproducten, waarbij het creëren van microplastics onopzettelijk is zoals autobanden die slijten tijdens het rijden, synthetische kleren die vezels afgeven tijdens het dragen, verfverwerking, ... (Vercauteren et al., 2023). Figuur 3 geeft duidelijk aan wat de mogelijke bronnen zijn van primaire en secundaire microplastics.



Figuur 3. Voorbeelden van primaire en secundaire microplastics (Acarer, 2023).

Verf wordt twee keer vermeld als zowel primaire en secundaire microplastic. Verf kent ook twee toestanden: vloeibaar en vast wanneer het is uitgehard. De uitleg van Vercauteren et al. (2023) plaatst verf in beide microplastic categorieën. De vraag die

hierbij naar boven komt is in welke fase is verf een primaire of een secundaire microplastic? Faber et al. (2021), legt uit dat sommige verven microplastics bevatten in de vorm van bollen, vezels en kralen om de eigenschappen van de verf te verbeteren. Deze deeltjes zijn primaire microplastics, ook als ze op een ongeschikte manier geloosd zijn door ze bijvoorbeeld in vloeibare vorm door de gootsteen te gieten. Opgeloste synthetische polymeren in verven op basis van oplosmiddel vallen niet binnen de definitie van microplastics omdat deze geen vaste polymeer deeltjes bevatten. Voor secundaire microplastics spreekt Faber et al. (2021) over verflagen die verweren doorheen de tijd en door onderhoud van die verflagen.

Sundt et al. (2014), kaart aan dat er verwarring is in sommige studies omtrent de term secundaire microplastics. Zo klasseren de auteurs bijvoorbeeld huisstof, stof afkomstig van textiel en stof van mariene verf als secundaire microplastics doordat de oorsprong in de slijtage van die polymeer bevattende producten, waarvan niet de bedoeling was om deze te laten eindigen als microplastic (Sundt et al., 2014). Sundt et al. (2014) definieert deze als primaire microplastics zolang ze zijn uitgestoten door de menselijke samenleving als “start of the pipe” en de emissie ervan ontstaat door menselijke gebruik.

De verwarring om verfdeeltjes afkomstig door onderhoud te categoriseren als primair klinkt logisch omdat deze bewust zijn gecreëerd. Maar de definitie van primair laat duidelijk weten dat het een microplastic is die wordt toegepast in een product (Egmond et al., 2021; Plastics Europe, 2024; Vercauteren et al., 2023). Plastics Europe (2024) stelt dat secundaire microplastics ontstaan door slijtage of afbraak van grotere stukken plastic die in de natuur terecht komen door gebrekkig of verkeerd afgevoerd afval.

Dit onderzoek plaatst vloeibare verf die in de natuur terecht komt in de categorie primaire microplastics. Verfdeeltjes die ontstaan door slijtage en verwijdering tijdens onderhoud zullen als secundaire microplastics geclassificeerd worden.

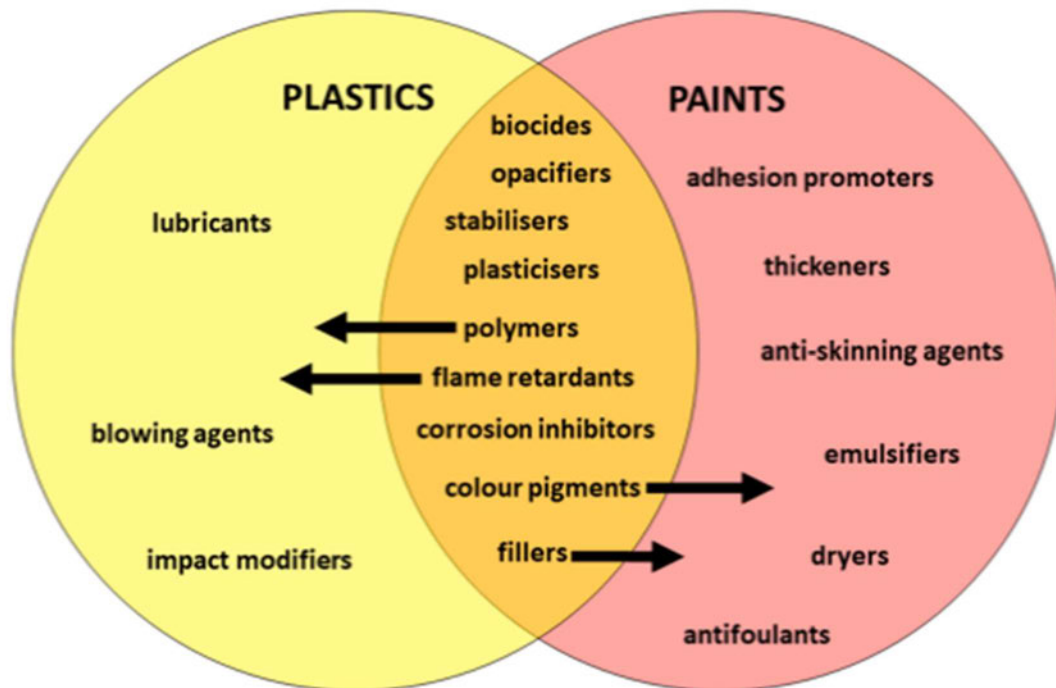
2.4 De link naar microplastics

Tamburri et al. (2022), beschrijven wanneer verfdeeltjes een microplastic is. De auteurs verklaren dat het deeltje voor $\geq 10\%$ van zijn totale massa uit synthetische polymeren moet bestaan om gedefinieerd te worden als een microplastic. Het is een

conservatieve benadering die gebaseerd is op de minimale waarde aan polymeren die in mariene verf wordt toegevoegd. Deze scriptie gebruikt deze stelling niet omdat deze definitie niet geschikt is voor de hoofdvraag van dit onderzoek zoals wordt beschreven in de volgende alinea's.

In verschillende studies is in de nabijheid van scheepswerven een grote hoeveelheid aan microplastics gevonden. Deze plastics werden geïdentificeerd als afkomstig van mariene verf. Hiernaast kwamen de kleuren van die plastics overeen met de schepen waar aan gewerkt werd (Sundt et al., 2014). Zo beschrijven Gondikas et al (2023), dat een microplastic verfdeeltje bestaat uit een vast mengsel met een synthetische polymeer als een belangrijk ingrediënt. Deze is volledig onoplosbaar of heeft een zeer trage oplosbaarheid in water, wat ervoor zorgt dat ze maanden tot jaren blijven bestaan.

Er zijn studies die verfdeeltjes operationeel, per ongeluk, opzettelijk uitsluiten of anders behandelen bij het rapporteren en of karakteriseren van de monsters (Turner, 2021). De mogelijke oorzaak hiervoor is dat de chemische samenstelling van verfdeeltjes complexer is dan die van plastics, wat het moeilijker maakt om ze te analyseren en categoriseren. Bijvoorbeeld, de binder van de verf is op polymeer basis en die polymeer kan gecategoriseerd worden op dezelfde manier als een conventionele microplastic. Maar de verven met dezelfde identieke polymeer kan nog steeds verschillen in polymeren gehalte in vergelijking met de conventionele plastics. Zo zal verf een lagere gehalte aan polymeren bevatten dan de conventionele plastics (Tagg, 2023). Deze vergelijking is duidelijk weergegeven in Figuur 4. In het algemeen is de massa aan pigmenten en vul- en hulpstoffen groter in opgedroogde verf film dan in plastic. Door deze verschillen en bewerkingsprocessen maakt het dat verf deeltjes dichter, brosser, hoekiger, minder transparant en chemisch meer heterogener zijn dan conventionele microplastics (Turner, 2021).



Figuur 4. Vergelijking tussen verf en conventionele plastics (Turner, 2021).

Voor deze scriptie vallen verfdeeltjes onder de term microplastic als deze eender welke hoeveelheid aan toegevoegde synthetische polymeren bevatten. Verven die geen synthetische polymeren gebruiken kunnen niet eindigen als een microplastic deeltje (Brännström et al., 2023).

3. Verf

Verf is een gekleurde vloeistof die aangebracht wordt op een oppervlakte of object met als doel om het onderliggende materiaal te beschermen of esthetisch vorm te geven (Faber et al., 2021; Turner, 2021). Er is een verschil tussen een verf en een coating. Verf is in het algemeen een vloeistof met het doel om een oppervlakte te verfraaien. Een coating wordt meestal gebruikt in een industriële omgeving. Coatings bestaan meestal uit een vloeistof of uit een vaste stof. Een coating voegt een specifieke functie toe aan het oppervlakte: bijvoorbeeld bescherming tegen corrosie of aangroei (Brännström et al., 2023).

In dit hoofdstuk ligt de focus op mariene verf aangezien de scriptie plaatsvindt in en rondom een droogdok.

3.1 Bestandsdelen van verf

De hoofdbestandsdelen van verf bestaan voornamelijk uit bindmiddelen, pigmenten, toevoegingen en oplosmiddelen (Brännström et al., 2023; Faber et al., 2021).

3.1.1 Bindmiddelen

Een bindmiddel is een van de belangrijkste onderdelen van de meeste verf soorten (Brännström et al., 2023). Bindmiddel wordt ook soms “resin” of hars genoemd in sommige papers of websites (Turner, 2021). De eigenschappen ervan zijn onder andere glans, elasticiteit, mechanische sterkte en UV-bestendigheid (Tyvaert, 2019). Bindmiddel is vaak samengesteld uit oligomeren, polymeren en monomeren die zullen reageren nadat de verf is aangebracht op een oppervlak (Brännström et al., 2023). De polymeren zorgen ervoor dat de pigmenten, additieven en andere materialen worden vastgehouden in de verf. Polymeren in verf bestaan uit natuurlijke stoffen of uit synthetische stoffen afkomstig van de petrochemie (Faber et al., 2021; Turner, 2021). Tabel 1 heeft enkele voorbeelden van bindmiddelen en de toepassing van deze op voorwerpen, gereedschappen en industrie.

Tabel 1. Bindmiddelen met voorbeelden van toepassingsgebied (Weimer et al., 2020).

Automotive top coats	<i>Original finishes:</i> acrylic, acrylic-epoxy, acrylic-melamine, acrylic-urethane, alkyd-melamine, polyester-melamine, polyurethane <i>Refinishes:</i> acrylic, acrylic-alkyd, acrylic-urethane, alkyd, nitrocellulose, polyurethane
Automotive primers	<i>Original finishes:</i> acrylic, acrylic-melamine, acrylic-urethane, alkyd-melamine, alkyd-urea, epoxy, epoxy-polyester, epoxy-urea, polyester-melamine, polyurethane, alkyd- or epoxy-benzoguanamine <i>Refinishes:</i> acrylic, epoxy, nitrocellulose-acrylic, polyurethane
Architectural	Acrylic, polyvinyl acetate (PVA), acrylic-PVA, alkyd <i>Less common:</i> polyurethane, nitrocellulose, styrene-butadiene, PVA-polyethylene
Spray paint	Alkyd (most common) or polyester – both often modified with vinyl toluene or nitrocellulose <i>Less common:</i> acrylic, epoxy, silicone (high temperature applications), acrylic-alkyd
Tools	Alkyd, alkyd-melamine, nitrocellulose <i>Less common:</i> acrylic, acrylic-styrene, epoxy, polyester
Bicycle	Alkyd, acrylic, alkyd-melamine, alkyd-urea
Nail polish	Nitrocellulose, acrylic
Marine	Alkyd, acrylic-urethane, epoxy, polyvinyl chloride, polyurethane
Aircraft	Acrylic, alkyd, acrylic-urethane, polyurethane, epoxy

3.1.2 Pigment

Pigment zorgt voor de kleur en dekking van de verf maar kan ook gebruikt worden om decoratieve effecten te geven zoals glans, of om de productprestaties te verbeteren. Het heeft bijvoorbeeld anti corrosie eigenschappen (Faber et al., 2021). Deze pigmentstof kan organisch of anorganisch zijn (Brännström et al., 2023).

3.1.3 Hulp en vulstoffen

Vul en hulpstoffen geeft verf bepaalde eigenschappen voor bepaalde doeleinden, zoals een ruwe oppervlak, bescherming tegen warmte, uv-bescherming, biociden, dispergeermiddelen en vulstoffen (Faber et al., 2021; Tyvaert, 2019).

3.1.4 Oplosmiddelen

Oplosmiddelen worden gebruikt om de viscositeit van de verf te verlagen (Faber et al., 2021). Het zorgt ervoor dat verf gelijk wordt aangebracht op het oppervlak en zorgt ook voor een goede filmvormende eigenschappen. Na het aanbrengen van de verf zal het oplosmiddel verdampen. Voorbeelden van veel voorkomende oplosmiddelen zijn: xyleen, tolueen, ethylbenzeen, alifatische naftaleen, aceton, ethylacetaat. Water wordt soms ook gebruikt in sommige verfproducten, dit is milieuvriendelijker dan de eerder genoemde organische oplosmiddelen (Brännström et al., 2023). Dit zijn de emissies van gevaarlijke dampen, namelijk de volatile organic compounds (VOC) (Faber et al., 2021).

3.2 Mariene verf

Mariene coatings variëren onderling erg van elkaar wat betreft hun beoogde functie en levensduur, zo zijn ze ontworpen om aan bepaalde behoeften en prestatie criteria te voldoen (Tamburri et al., 2022). De definitie van een mariene coating is volgens Brännström et al. (2023) redelijk breed. Een mariene coating wordt door Tamburri et al. (2022) gedefinieerd als elke coating of verfsysteem dat gebruikt wordt op de buitenste oppervlaktes van schepen zowel boven en onder de waterlijn. Dit omvat antifouling coatings (zie hoofdstuk 3.2.2), corrosie werende coatings, uiterlijke afwerking en “tie-coats” (laag om de hechting tussen twee lagen te verbeteren). Anderen beschrijven mariene coatings als een coating die wordt toegebracht op oppervlakken in de nabijheid van een mariene omgeving. Dit wilt zeggen dat mariene coatings niet alleen toepassingen hebben op allerlei onderdelen van een schip maar ook op olie platformen, boeien en constructies aan water gelegen (Brännström et al., 2023). Voor schepen zijn er zes belangrijke gebieden voor het aanbrengen van scheepsverven, namelijk het volgende (Lassen et al., 2015):

- Onderwatergedeelte van de romp;
- Waterlijn;
- Buitenste gedeelte van de accommodatie;
- Ruimtes die intern in het schip bevinden zoals tanks;
- Dekken ;
- Losse apparatuur.

3.2.1 Polymeren in marine verf

Bindmiddel of resin is een van de onderdelen van verf die in meerdere studies staat beschreven als drager van synthetische polymeren (Brännström et al., 2023; Faber et al., 2021; Turner, 2021). Er zijn ook verven op de markt waar microkorrels in zijn toegevoegd (Verschoor, 2015). De aandacht in dit hoofdstuk ligt dan vooral op het bindmiddel omdat deze in de meeste gevallen synthetische polymeren bevatten.

Gemiddeld bestaat een verf voor 37 % uit synthetische polymeren. De rest bestaat uit oplosmiddelen die verdampen tijdens het drogen, vulstoffen en pigment. Wat achterblijft zijn de vaste stoffen wat een mix is van plastics en andere vaste deeltjes (Brännström et al., 2023; Lassen et al., 2015). Deze benadering van 37 % is voor alle soorten verf die gebruikt wordt, dit is dan verf voor bijvoorbeeld de bouwsector, het aanbrengen van wegmarkeringen, de scheepvaartsector, enzovoort. Een typische mariene verf bevat meer dan 50 % aan vaste stoffen waarvan de helft de binder is. 25 % van de verf bestaat dus uit bindmiddel (Sundt et al., 2014). Een algemene trend in de mariene verfsector is dat er meer vaste stoffen in verf worden toegevoegd. Dit zorgt ervoor dat er minder gevaarlijke oplosmiddelen in de verf aanwezig zijn (Sundt et al., 2014). Tamburri et al. (2022) leggen uit dat het percentage bindmiddel van het vast gedeelte in de verf tussen de 10 – 90 % ligt, 40 % voor de meest gebruikte verven. Lassen et al. (2015) Gebruikt voor de emissie berekeningen een polymeer gehalte van 10 – 50 % voor mariene verven. Het polymeer gehalte in de hierboven vernoemde studies varieert sterk van elkaar met een uitschieter van 90 %. Er wordt vastgesteld dat een mariene coating tussen de 25 % en 40 % aan synthetische polymeren bevat. Voor deze studie zoals besloten in het hoofdstuk 2.4 wordt het volledige deeltje aanschouwd als een microplastic. De definitie van microplastics varieert sterk in verschillende studies. Zo zijn er die het hele verfdeeltje beschouwen als microplastic, en dan zijn er auteurs die enkel het polymeergehalte gebruiken. Dit bemoeilijkt het om verschillende cijfers van verschillende rapporten en studies te vergelijken (Brännström et al., 2023).

Polymeren in mariene verf die vaak vernoemd zijn in studies zijn epoxy, polyurethaan (Sundt et al., 2014), acryl, chloorrubber (Turner, 2021), alkyd en polyvinylchloride (Weimer et al., 2020). Deze polymeren zullen hieronder verder toegelicht worden.

3.2.1.1 Epoxy

Epoxycoatings hebben een hoge chemische weerstand, hoge thermische stabiliteit, goede hechting en een hoge taaiheid. In sommige gevallen biedt de coating bescherming tegen corrosie en chemicaliën. Epoxycoatings worden daarom vaak gebruikt in pijpleidingen en in het exterieur en interieur van schepen en wegmarkeringen. De geschatte levensduur van een epoxycoating in zout water wordt geschat op zes jaar en in een mariene omgeving op acht jaar (Brännström et al., 2023).

3.2.1.2 Polyurethaan

Polyurethaan staat ook wel bekend als PUR. Polyurethaanharsen zijn vaak gemaakt van isocynaten. Het *crosslinked* het bindmiddel door te reageren met alcoholen of aminegroepen. Door het brede scala aan beschikbare isocynaatmonomeren of oligomeren kunnen de eigenschappen van de verf worden aangepast aan eigenschappen die verband houden met de droogtijd, filmvormend vermogen, uithardingstijd en de uiteindelijke eigenschappen van de uitgeharde verf. De reactie van deze stof is snel en efficiënt maar er zijn gezondheidsproblemen aan gelinkt, bijvoorbeeld ademhalingsproblemen en huidsensibilisatie (allergische reactie) (Brännström et al., 2023).

3.2.1.3 Acryl

Acrylbinders reageren door radicaalpolymerisatie. De herhalende eenheid van monomeren bevat koolstofbindingen. Deze reactie is snel onomkeerbaar, in tegenstelling tot de synthese van polyester. Acrylverven zijn zeer duurzaam en niet gevoelig voor hydrolyse. Oplosmiddel houdende acrylharsen drogen snel en hebben een goede hechting. Zij worden daarom veel gebruikt in de auto-industrie, omdat het zijn kleur behoudt in buitencondities. Omdat acrylbindingen vaak oplosbaar zijn in water voordat ze uitharden, is het mogelijk om de coating water dragend te maken. Deze water gedragen coatings staan meer in de belangstelling doordat het een milieuvriendelijkere optie is in vergelijking met de coatings op basis van een oplosmiddel. In 2024 vertegenwoordigen acrylverven ongeveer 25 % van alle coatings wereldwijd (Brännström et al., 2023).

3.2.1.4 Alkyd

Alkyden zijn in sommige opzichten verwant aan polyester. Om een alkyd te maken reageren polyesters met onverzadigde vetzuren, de onverzadigde bindingen in het vet zullen *crosslinks* vormen wanneer ze in contact komen met zuurstof in de lucht. Door antioxidant toe te voegen kan het droogproces worden vertraagd. Voorbeelden van zulke vetten zijn lijnzaadolie, sojaolie, zonnebloemolie, wonderolie (ook wel ricinusolie of castorolie genoemd) en tungolie (olie gewonnen uit het zaad van de noot van de tungboom) (Brännström et al., 2023).

3.2.1.5 Chloorrubber

Chloorrubber verf is gemaakt van chloorrubber hars. Het wordt gekenmerkt door sneldrogende en ontvlambare eigenschappen. Chloorrubbercoatings komen vaak voor in de scheepvaart en petrochemie en het presteert goed als anticorrosie coating. Om de prestaties te verbeteren tegen weeromstandigheden wordt chloorrubber gemodificeerd met koolteerpek of thermoplastische acrylharsen (Nguyen Trung, 2023).

3.2.1.6 Polyvinylchloride

Polyvinylchloride ook wel bekend als PVC, deze coating bezit beschermende eigenschappen voor zowel mechanisch als tegen corrosie. De mechanische eigenschappen ervan zijn de elasticiteit, het absorberen van schokken en chemische resistentie tegen zuren en alkalische en oxidatieve omgevingen. Door de lage kosten en de beschikbaarheid van PVC, wordt dit polymeer gebruikt in industriële processen (Bandeira et al., 2017).

3.2.2 Antifouling

Antifouling zijn ook een bron van microplastics (Gondikas et al., 2023). Door het self-polishing systeem van sommige type antifouling laten deze polymeren los als een hydrofiel en niet als een vast deeltje. Maar ze vormen altijd een bron van microplastics wanneer de antifouling beschadigd raakt of afslijt (Tamburri et al., 2022). De binder van deze verfsoort bestaat voornamelijk uit acrylpolymeren (Brännström et al., 2023).

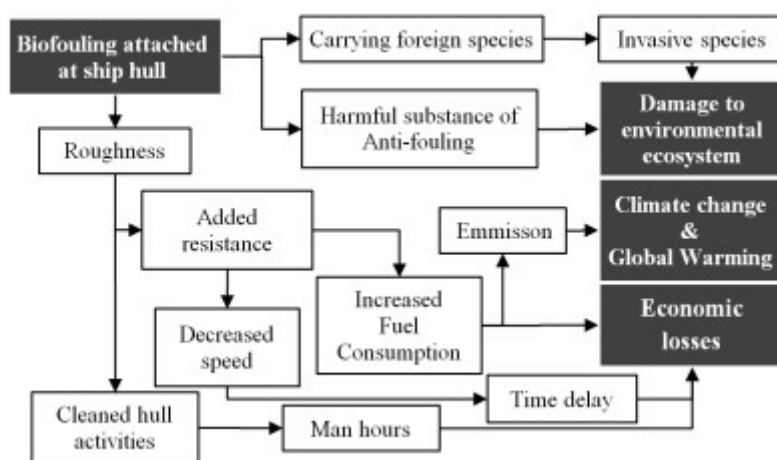
Studies in Zweden, Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk hebben vastgelegd dat er een hoog aantal verf- en antifoulingdeeltjes afkomstig zijn van plaatsen waar onderhoud aan boten plaatsvindt. Echter, geen enkele van deze studies meet specifiek de microplastics. De focus ligt in deze studies eerder bij het meten van de zware metalen en giftige chemicaliën die aanwezig zijn in antifoulings. Zo is in één van die studies de concentratie aan zware metalen berekend in de grond bij een scheepswerf waar 200 plezier boten aanwezig waren. Het resultaat was 80 ton aan lood, koper en zink deeltjes die in de grond achterbleven (Sundt et al., 2014). Er kan worden verondersteld in het geval dat in antifoulingverven een synthetische polymeer is toegevoegd, het microplastics zijn. Op plaatsen waar schepen stranden of een aanvaring hebben zijn er tevens ook deeltjes van antifoulings terug te vinden (Turner, 2021).

Biofouling of aangroei is een verzameling van waterorganismen zoals planten en dieren op natte oppervlakten. Er zijn twee groepen van aangroei: aangroei van micro-organismen en aangroei van macro-organismen. Micro-organismen zijn bacteriën, diatomeeën en slijmerige substanties. Macro-organismen zijn meercellige organismen die waarneembaar zijn met het blote oog. Voorbeelden hiervan zijn zeepokken, kokerwormen en algenbladeren (Hakim et al., 2019). Er zijn meer dan 4000 soorten van aangroei organismen wereldwijd variërend van zacht zoals algen en anemonen, tot hard zoals zeepokken en mosselen (Figuur 5).



Figuur 5. Foto van (a) algen, (b) anemonen, (c) zeepokken, (d) mossels (Tian et al., 2021).

Voor de scheepvaartindustrie zorgt deze aangroei voor economische schade en schade aan het ecosysteem (Figuur 6). Dit komt omdat de aangroei de romp ruwer maakt dit zorgt voor een verhoogde weerstand en het brandstof verbruik stijgt. Hoger brandstof verbruik zorgt tevens voor meer uitstoot (CO₂, NO_x en SO_x). Aangroei kan er voor zorgen dat invasieve soorten in een gebied terechtkomen waar ze vervolgens schade gaan veroorzaken aan lokale ecosystemen (Hakim et al., 2019).



Figuur 6. Flowchart die weergeeft welke problemen aangroei kan teweeg brengen (Hakim et al., 2019).

Om die aangroei te weren legt Hakim et al. (2019) uit dat er twee soorten van antifouling systemen zijn, de biociden en niet biociden. Aangroeiwerende verven met biociden zijn de controlled depletion polymers (CDP), self-polishing copolymers (SPC) en een hybride SPC. De niet biociden zijn de foul release coatings. Maar in de studie van Frydenberg (2022), is CDP een categorie. In de studies van Faber et al. (2021) en Turner (2021) wordt er gesproken over drie soorten van antifouling verven: hard, zacht en self-polishing. Alleen komt bij de studie van Turner (2021) geen zachte antifouling voor maar ablatieve antifouling. Dit is een zachte verf (Brännström et al. 2023). In de studie van Weber & Esmaeili (2023) zijn er ook drie andere categorieën van antifouling systemen: biocide antifouling, fouling release en de harde coatings. Om te zien waar de verschillen liggen kan er gekeken worden welke van de coatings biociden bevatten en waar de gelijkenissen zitten. Dit geeft het volgende resultaat (Tabel 2):

Tabel 2. Vergelijking van antifoulings met biociden en geen biociden.

	Biociden	Niet biociden
Self-polishing antifouling	(Faber et al., 2021; Hakim et al., 2019)	
Controlled depletion polymer (CDP)	(Hakim et al., 2019; Weber & Esmaeili, 2023)	
Fouling release coating (FRC)	(Weber & Esmaeili, 2023)	(Brännström et al., 2023; Hakim et al., 2019)
Harde coatings	(Faber et al., 2021)	
Zachte coatings	(Faber et al., 2021)	

Hoewel in het merendeel van de onderzoeken over fouling release coatings vermeld wordt dat deze geen biociden bevatten, stellen Weber & Esmaeili (2023) dat het nodig kan zijn om biociden toe te voegen aan fouling release coatings om optimale prestaties te garanderen. Doordat de kans bestaat dat er in fouling release biociden aanwezig zijn is het misschien niet ideaal om antifoulings te categoriseren naargelang of ze biociden bevatten of niet. Daarom is voor deze scriptie gekozen om antifoulings in te delen in drie groepen, zachte antifouling, harde antifouling en de self-polishing antifouling.

Zachte en self-polishing antifouling slijten doorheen de tijd door het langsstromende water en lossen geleidelijk op, dit is normaal niet het geval voor de harde antifouling coatings (Faber et al., 2021). Met deze definities kunnen de antifouling types als de CDP en FRC in één van de drie groepen worden geplaatst. Alhoewel dat het indelen enkel in de zachte en harde categorie zal zijn, dit omdat in studies van bijvoorbeeld (Frydenberg, 2022; Romeu & Mergulhão, 2023) CDP en FRC vaak apart staan van de categorie self-polishing. De zachte en harde categorie wordt in sommige studies vermeld als de niet oplosbare en oplosbare (Frydenberg, 2022). CDP coatings zijn gebaseerd op oplosbare pijnhars en voorzien een constante afgifte van biociden (Weber & Esmaeili, 2023). Hiermee kan er geconcludeerd worden dat CDP onder de categorie zachte antifoulings valt. FRC zijn voornamelijk gebaseerd op siliconen, aangroei laat los wanneer het vaartuig beweegt door het water (Brännström et al., 2023). Deze coating laat ook geen schadelijke stoffen vrij doordat het een laag creëert

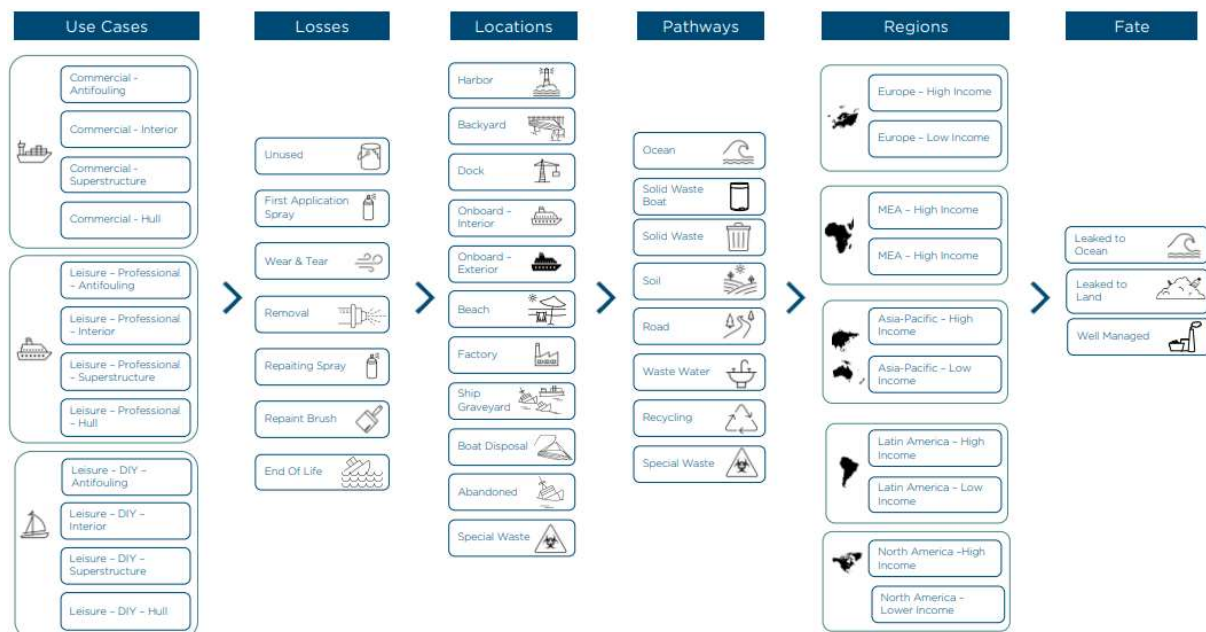
dat aanhechting voor aangroei organismen moeilijk maakt (Tian et al., 2021). Deze coating is lastig toe te kennen aan één van de drie groepen. Een zachte antifouling is het niet omdat een FRC geen stoffen loslaat. Het is ook geen self-polishing antifouling omdat er geen hydrofiele laag wordt gevormd. Om deze redenen valt een FRC in de categorie van de harde antifouling.

3.3 Emissie van mariene coatings

Volgens Tyvaert (2019) zijn er drie manieren waarop microplastics in het maritieme milieu terecht komen, namelijk de volgende:

- Het morsen van een vloeibare mariene coating, deze categorie valt als een primaire microplastic zoals besproken in hoofdstuk 2.3;
- Slijtage en verwerking van de coating, dit valt onder de categorie van secundaire microplastics;
- Het verwijderen van verf met een bikhamer, straaltechnieken, deze categorie valt onder secundaire microplastics. Dit wordt in hoofdstuk 4.2.2. verder uitgelegd.

Er zijn meer manieren waarbij microplastics van een mariene verf in het mariene milieu terecht kunnen komen. Aanvaringen van schepen of botsingen tegen een object maar ook wrijving tijdens stranden, *touch and go* met de zeebodem en het *beachen* van schepen zorgt voor het vrijlaten van microplastics. Schepen die door ijs varen laten ook verfdeeltjes los door wrijving maar deze categorie zou logischerwijs bij slijtage en verweer horen (Turner, 2021). De studie van Paruta et al. (2022), toont de levensweg van mariene verf van vraag naar einddoel (Figuur 7). Zo is bij *losses* te zien dat verf verloren geraakt voor dat het zijn doel heeft bereikt en ook als het schip op het einde van haar dienst wordt gesloopt. Paruta et al. (2022) verklaren dat 84 % van de mariene verf gebruikt wordt in de commerciële sector en 11 % in pleziervaart en DIY. Binnen de commerciële sector is het de romp die het meeste verf nodig heeft.



Figuur 7. Bronnen van mariene coating emissie met de oorzaken en locatie (Paruta et al., 2022).

In de studie van Paruta et al. (2022), is verf voor de romp de top bijdrager van microplastic pollutie met 374 kt van de 911 kt per jaar die het schip in totaal loslaat (Figuur 9). De locatie (Figuur 10) waar de meeste verfdeeltjes vandaan komen zijn op één activiteiten die plaatsvinden aan boord, gevolgd door plaatsen waar schepen worden gesloopt en daarna droogdokken. Voor droogdokken is er weinig informatie te vinden over hoe ze met bepaalde emissies omgaan zoals vervuiling wanneer de bodem van het droogdok schoongemaakt wordt voordat het schip terug te water wordt gelaten. De bedoeling van dit onderzoek is om een beeld te schetsen wat de bijdrage is van een droogdok aan microplastic emissie naar het mariene milieu toe.

Er is ook commentaar op de studie van Paruta et al (2022). De resultaten in de studie overschatten volgens de British Coatings Federation (BCF) de bijdrage van verf naar het mariene milieu (BCF, 2024). Het aandeel microplastics in verf zou volgens de BCF (2024) 0.4 % van het volume bedragen. Deze bewering zou volgens BCF (2024) gebaseerd zijn op de definitie van microplastics van de Europese Unie. Het is misschien toeval dat op deze website geen link is geplaatst naar definitie van de EU maar wel een link naar de studie van Paruta et al. (2022) en die van hun eigen campagne voor het goed deponeren van antifouling. Ondanks de bestaande kans dat BCF bevoordeeld is laat Figuur 8 zien dat de resultaten van Paruta et al. (2022) inderdaad er bovenuit schieten.

Source	Geography	Sectors	Paint microplastic leakage (kt/yr)	Per capita equivalent (g/cap/yr)	Paint share of microplastic leakage (%)
IUCN <i>Boucher & Friot, 2017</i>	Global	• Marine • Road markings	156 (to ocean & waterways)	23 (to ocean & waterways)	10,7%
EUNOMIA <i>Hann et al. 2018</i>	EU	• Architectural • Marine • Automotive • Road markings	20 (to ocean & waterways)	40 (to ocean & waterways)	11,6%
MEPEX <i>Sundt, Schulze & Sørensen, 2014</i>	Norway	• Architectural • Marine • Road markings	1,1 (to environment)	214 (to environment)	14%
UNEP <i>Ryberg et al., 2018</i>	Global	• Architectural • Marine • Road markings	640 (to environment)	84 (to environment)	21%
Swedish EPA <i>Magnusson et al., 2016</i>	Sweden	• Architectural • Marine • Road markings • General Industrial	1,8 (to environment)	186 (to environment)	9,6%
EA <i>Paruta et al. 2022</i>	Global	• Architectural • Marine • Road markings • General Industrial • Automotive • Industrial wood	1'857 (to Ocean & Waterways)	267 (to Ocean & Waterways)	58%

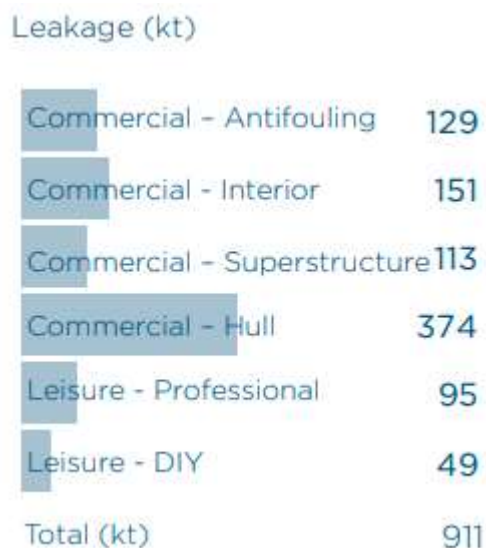
Figuur 8. Vergelijking microplastics emissie van verf met andere studies (Paruta et al., 2022).

Mogelijke oorzaken voor deze verschillen zijn:

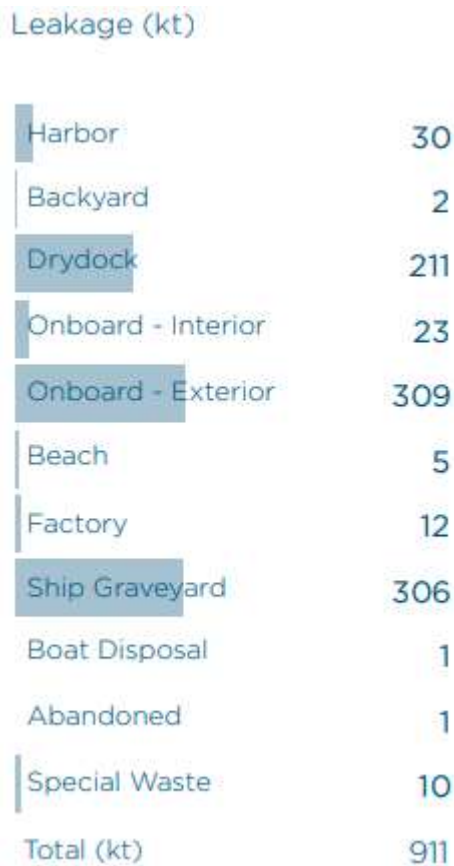
- Focus op één tot drie sectoren, versus zes sectoren zie Figuur 8.
- Gebruik van andere waarden. Bijvoorbeeld: Eunomia schat in Figuur 8 dat 0,5 % van de antifoulingverf tijdens de gehele levensduur van het schip door verwerking in het mariene milieu verloren gaat (Paruta et al., 2022). Paruta et al. (2022) gebruikt in tegenstelling een waarde van 35 % voor antifouling die verloren gaat in een periode van vier jaar. Deze waarde is gebaseerd op de resultaten van de European Council of the Paint, printing ink and artist colours

industry (CEPE) waar beweerd wordt dat 100 % van de antifouling oplost tijdens de levensduur ervan. Hetzelfde paper claimt dat de emissie ervan 2.9 keer kleiner is dit komt neer op een 34 %. Paruta et al (2022) geeft zelf toe dat er een conservatieve beslissing is genomen om verlies ratio van 35 % te gebruiken.

- Gebruik van een andere polymeerinhoud. Sundt et al. (2014) gebruikt een polymeerinhoud van 25 % om emissiewaarden te bepalen voor marinecoatings terwijl Paruta et al. (2022) een algemene polymeerinhoud van 37 % gebruikt voor berekeningen.
- Emissie van microplastic wordt berekend voor zee en waterwegen versus berekening naar de hele omgeving toe land, zee en lucht (Figuur 8).
- Lokaal versus globaal. In de studie van Sundt et al. (2014) zijn de resultaten van microplastics berekend voor Noorwegen terwijl Paruta et al. (2022) deze hebben berekend voor heel de planeet.



Figuur 9. Emissie van verschillende mariene verf toepassingen (Paruta et al., 2022).



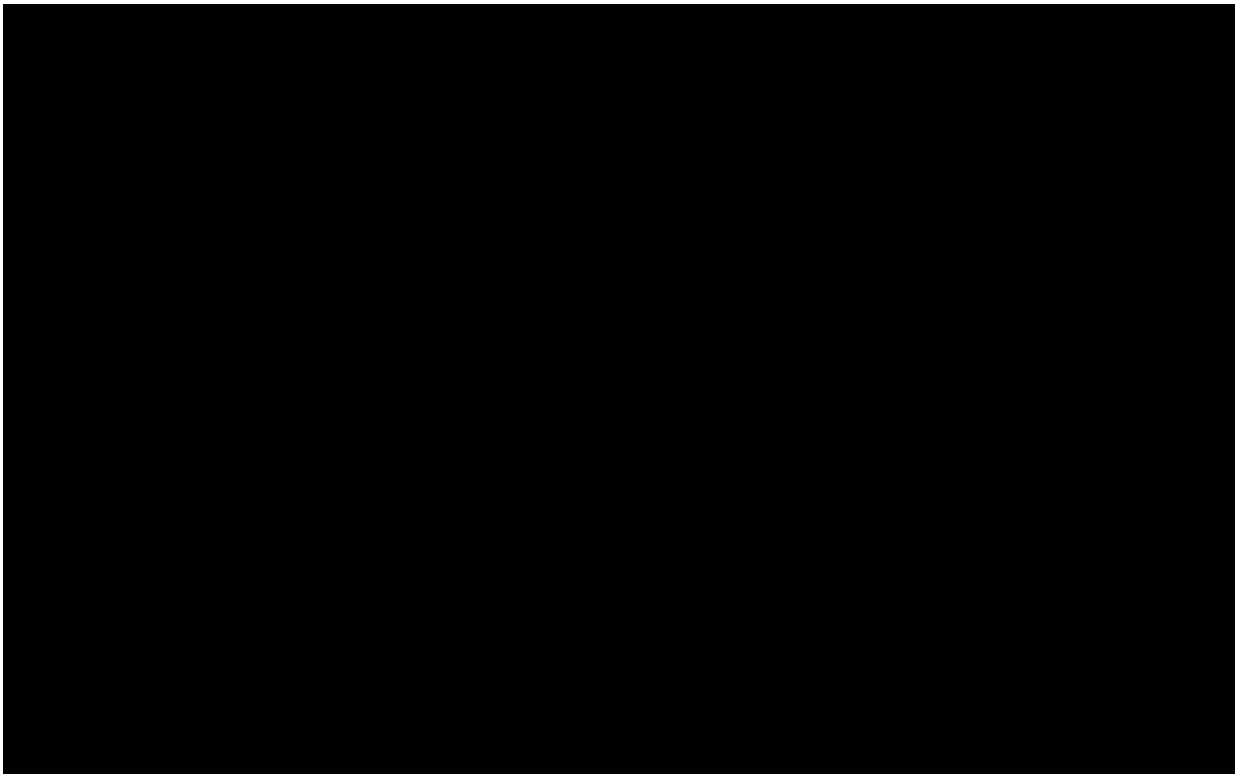
Figuur 10. Plaatsen waar mariene verf pollutie vandaan komt (Paruta et al., 2022).

Dat er microplastics afkomstig van mariene verf in de natuur terechtkomen is al bewezen door een aantal studies. Alleen de hoeveelheid is grotendeels onbekend, en de cijfers variëren sterk van minimaal 156 kt per jaar tot maximaal 1857 kt per jaar globaal gezien. Deze cijfers verschillen zo sterk van elkaar dat ze niet bruikbaar zijn om duidelijk te zeggen hoeveel microplastics afkomstig van verf in het milieu terechtkomen. Paruta et al. (2022) verklaren in hun studie dat de meeste studies gebruikmaken van cijfers gegeven door de CEPE en de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OECD) dewelke de belangen van de coatingindustrie representeren. Ondanks de verschillen kunnen de studies wel een beeld schetsen van welke sectoren en activiteiten de meeste emissies veroorzaken. In het geval van de scheepvaart zijn dit scheepswerkhoven, werken aan boord en droogdokken. Verf van scheepsrumpen en antifouling is de top drie bijdragers van microplastic emissie van mariene verf in het mariene milieu.

Voor deze scriptie zal de focus liggen op de verwijdering van mariene verf in het droogdok, wat resulteert in secundaire microplastics. Deze mariene verf zal voornamelijk afkomstig zijn van de romp, met name de antifouling, omdat dit het grootste oppervlak heeft dat direct is blootgesteld aan de buitenomgeving. De cijfers over emissie van microplastics variëren sterk en zullen daarom niet in deze scriptie worden gebruikt. Ze kunnen echter wel dienen als indicatie van welk onderdeel van het schip het meest bijdraagt aan emissie.

4. Droogdokken

Een droogdok is een plaats waar vaartuigen kunnen langskomen voor reparatie, onderhoud of het wordt gebruikt voor de bouw van een nieuw vaartuig. Er zijn twee droogdokvormen: het ingegraven droogdok en het drijvende droogdok. Een drijvend droogdok bestaat uit een ponton in de vorm van een 'U' Figuur 11. De tanks in de ponton worden gevuld met water zodat het dokgedeelte onderwater komt te staan. Een vaartuig kan in de U-vorm van de ponton varen, of de ponton wordt onder het schip gepositioneerd. Nadat dit gedaan is worden de tanks in de ponton leeggepompt zodat het dok weer stijgt (Sadeghi et al., 2018).



Een ingegraven droogdok is een vaste constructie gebouwd in de grond en gelegen naast het water. De opening aan waterzijde wordt gesloten en het water wordt weggepompt. Het vaartuig in het dok zal langzaam op de blokken rusten en het onderwatergedeelte komt geleidelijk aan droog te liggen (Sadeghi et al., 2018). De meeste karakteristieken voor een drijvend dok komen overeen met die van een

gegraven dok. Zo dient bij beide dokken de helling niet meer dan één meter te bedragen om het achterschip niet te zwaar te belasten, deze helling loopt af richting de dokdeur of naar het water in het geval van een drijvend droogdok. Het vaartuig rust op de blokken. Deze staan op een onderlinge afstand van 1 m à 1.25 m uit elkaar en kunnen elk een gewicht dragen van ongeveer 100 tot 150 ton. In het midden staan de kielblokken en om het schip stabiel te houden worden er zijstoppen geplaatst (Dokkum, 2012).

4.1 Reden voor dokken van schepen

Het droogzetten van schepen is nodig om de volgende redenen (Dokkum, 2012):

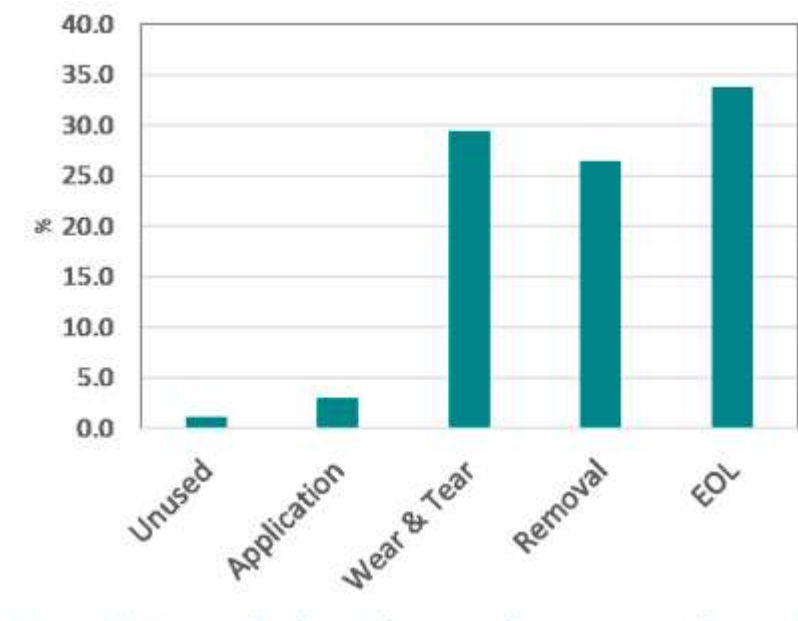
- Het SOLAS-verdrag vereist dat een vaartuig minstens twee dokbeurten moet hebben gehad in een periode van 5 jaar. Tussen die dokbeurten mag de periode van drie jaar niet overschreden worden. Één van de dokbeurten mag vervangen worden door een in waterinspectie;
- Het is de eis van een classificatiebureau, dit kan zijn voor een visuele inspectie van de conditie van de romp, roer en schroef. Eisen van de klasse komen normaal gezien overeen met die van SOLAS;
- Door schade aan het onderwaterschip door o.a. een aanvaring, omdat het schip aan de grond is gelopen of in slechte staat is door gebrekkig onderhoud;
- Door verkoop van het schip.

4.2 Uitgevoerde werkzaamheden aan het schip

Eenmaal het schip op de blokken rust kunnen de werken aan het schip starten, voor deze scriptie worden enkel de werken aan de romp in beschouwing genomen. Deze werken aan de romp omvatten eerst het vrijmaken van de romp van zout en aangroei. Hierna kan de rompsinspectie starten om de verflaag te beoordelen. Nadat de inspectie heeft plaatsgevonden kan de voorbehandeling van de romp beginnen zoals uitgelegd in het hoofdstuk '4.2.2 verwijderen van verf'. Als laatste kan het verven beginnen, zoals uitgelegd in het hoofdstuk '4.2.3 aanbrengen van verf' (Brännström et al., 2023; Swain

& Lund, 2016). Deze activiteiten leiden tot emissie van microplastics (Verschoor et al., 2016).

Figuur 12 laat zien dat 26 % van de emissie afkomstig is van het verwijderen van mariene verf, ongeveer 3 % wordt gecreëerd tijdens het aanbrengen van die verven. Deze verliezen vinden grotendeels plaats in droogdokken (Paruta et al., 2022).



Figuur 12. Emissie van mariene coating tijdens verschillende processen (Brännström et al., 2023).

4.2.1 Verwijderen van aangroei

Het verwijderen van aangroei wordt gedaan met behulp van een hogedrukspuit, straalgrit en manueel krabben (Choi et al., 2020). Hogedrukreiniging is efficiënt in het verwijderen van zout, aangroei, losse verf en andere makkelijk lossende materie. Het afspuiten van de romp met een hogedrukspuit werkt op een druk van 350 bar (Dokkum, 2012).

Informatie over emissie van microplastics tijdens het verwijderen van aangroei is nauwelijks te vinden, enkel voor *in water cleaning*. Voor deze scriptie blijft dit een onbekende factor.

4.2.2 Verwijderen van verf

Behandelen van de ondergrond is essentieel om een goede hechting te garanderen voor de nieuwe verflaag. In het boek van Dokkum (2012) staan zes methodes opgesomd om de onderlaag te reinigen:

- Handgereedschap: Voorbeelden van handgereedschap zijn schuurpapier, staalborstels, bikhamers en schrapers. Het gebruik van dit gereedschap is arbeidsintensief en het eindresultaat is niet kwalitatief, dit gereedschap zal eerder gebruikt worden voor lokale behandelingen;
- Mechanisch gereedschap: Dit zijn mechanische bikhamers, roterende staalborstels, slijpschijven, schuurschijven en biktollen. Het voordeel van het gebruik van naaldbikhamers is dat het de ondergrond ruwer maakt; bij gebruik van slijp/ schuurschijven en roterende borstels bestaat de kans dat de ondergrond wordt gepolijst en dit is niet goed voor de hechting;
- Chemisch: Toepassing is voor lokale verfwerkjes, een verflaag wordt gebeitst of gezuurd en bijt deze af;
- Warmte;

- Zand / gritstralen: Met behulp van lucht botsen harde korrelvormige materialen tegen een hoge snelheid tegen het oppervlak. Dit is beste manier om staal voor te behandelen, de ondergrond wordt ruw en is proper. Het is ideaal voor het stralen van grote oppervlaktes, zo is 20 m² per uur is haalbaar, in het dok wordt stralen vooral gedaan aan de romp en eventueel tanks;
- Waterstralen: Voor het verwijderen van verf is er hydrojetting met een druk van 700 -1700 bar. Dit verwijdert verf, roest en schelpvoetjes. Met een druk boven 1700 bar wordt gesproken over ultrahoog waterstralen. Deze methode verwijdert alles en heeft een hogere productiesnelheid. Het nadeel van deze methode is dat er geen anker profiel wordt gecreëerd wat nodig is voor een goede hechting. De kans op oxidatievorming is hier groter.

De meest voorkomende manier voor het verwijderen van bestaande verflagen is door gebruik van een schuurstraler of schuurmiddelen zoals koperslakken, kolenslakken, staalgrit, staalschot en glas (OECD, 2014). In sommige gevallen wordt een primaire microplastic gebruikt in schuurstralers als alternatief voor zand en staalgrit, omdat dit plastic alternatief milder is voor het behandelen van oppervlaktes (Lassen et al., 2015; Sundt et al., 2014). Faber et al. (2021), zeggen dat er voldoende alternatieven zijn voor het gebruik van microplastics zoals kokosnootschil, droogijs, glaskorrels en siliciumcarbide. Het is relevant bij het uitvoeren van metingen dat er kennis is welke schuurmiddel er wordt gebruikt bij het behandelen van een oppervlak. Dit kan invloed hebben bij de resultaten van de monsters.

Bij het schuurstralen voor het verwijderen van verf is een duimregel die stelt dat er 0.5 kg verfstof wordt gecreëerd per vierkante meter bestraalde oppervlak (Sundt et al., 2014). In de studie van Verschoor et al. (2016) zou 97.5 % van de verwijderde verf op scheepswerven worden opgeruimd. Dit stelt dat er een emissie is van 2.5 % van gestraalde materie, terwijl de OECD deze emissie op 5 % schat. Hiermee stelt Verschoor et al. (2016), op basis van een studie in 1985 dat er minder emissie is op scheepswerven omdat deze het gestraalde materiaal opruimen. Als het document van de OECD (2014) erbij wordt gehaald dan is die 5 % emissie naar water afkomstig van aanbrengen van verf en verwijderen ervan. Specifiek voor het verwijderen van verf zou dit 3.2 % zijn dat terechtkomt in water, wat dicht in de buurt ligt van de benadering van Verschoor et al. (2022).

Het onderzoek in deze scriptie is vergelijkbaar met de resultaten voor en na de waterzuivering installatie. Het bereik van emissie wordt hier genomen van 2.5 % - 3.2 % op basis van de studie van Verschoor et al. (2016) en het rapport van OECD (2014).

4.2.3 Aanbrengen van verf

De meest gebruikelijke verfapparatuur zijn de borstel, verfrol, *airspray* en *airless spray* (Tyvaert, 2019). Spuitsystemen zijn ideaal om grote oppervlaktes te overbruggen, de kwast is dan geschikter voor kleine herstelwerken en moeilijk bereikbare plaatsen / ruimten (Dokkum, 2012).

Airspray is een simpel concept waar samengedrukte lucht wordt gebruikt om de verf te verstuiven uit het mondstuk van het verfpistool. In het mondstuk wordt lucht met de verf gemixt (Ghazi H. & Aldhafiri, 2021).

Bij *airless spray* (Figuur 14) zorgt een piston voor druk met als gevolg dat de verf eruit komt in de vorm van een *spray*. Bij dit systeem is de verf niet gemixt met lucht en *overspray* is hier minder dan bij de *airsprays*. Dit systeem bespaart verf en kan meer oppervlaktes bestrijken in een kortere periode (Ghazi H. & Aldhafiri, 2021).



Figuur 14. Gebruik van een airless spray systeem met overspray (Made in China, 2024).

Verf aanbrengen op schepen in droogdokken wordt voor 99 % gedaan met *spray paint* (Brännström et al., 2023). Tijdens het bespuiten van een oppervlak ontstaat er *overspray* (Figuur 14) die verspreid wordt door wind en uiteindelijk ergens aan blijft kleven of terecht komt. Door de aanwezigheid van synthetische polymeren in verfproducten kan het gebruik van een *airless spray* bijdragen tot emissie van microplastics (Faber et al., 2021). Indien verf wordt aangebracht met een *airless spray* is er een spuitverlies van ongeveer 20 % - 30 %. Het verlies van verf tijdens het spuiten wordt veroorzaakt door volgende redenen (Dokkum, 2012):

- Vorm van de constructie;
- Weersomstandigheden tijdens het spuiten;
- Ervaring van de schilder;
- Omgang met restanten in de lege verfblikken.

In de studie van Sundt et al. (2014) zou tijdens het aanbrengen van verf 20 % - 40 % verlies zijn, hierbij is niet vermeld of dit specifiek van een spuitinstallatie is. De OECD (2014) verklaart dat het verlies tijdens spuiten 35 % is, waarvan 90 % van de vaste stoffen die *oversprayed* zijn bij het aanbrengen van een antifouling in ontvangst wordt genomen voor afvalverwerking, de overige sprays zijn gelijk verdeeld tussen water en land. Dit zou het volgende resultaat opleveren: 10 % van de stoffen die niet in ontvangst worden genomen van de 35 % *oversprayde* verf resulteert dat in het volgende, $((35 \cdot (10/100)) = 3,5 \%)$ ongeveer de helft hiervan (1,8 %) verf komt terecht op land en de andere helft komt terecht in het water. Deze waarden zijn echter theoretisch. In de praktijk kan dit verschillen door hierboven opgenoemde redenen.

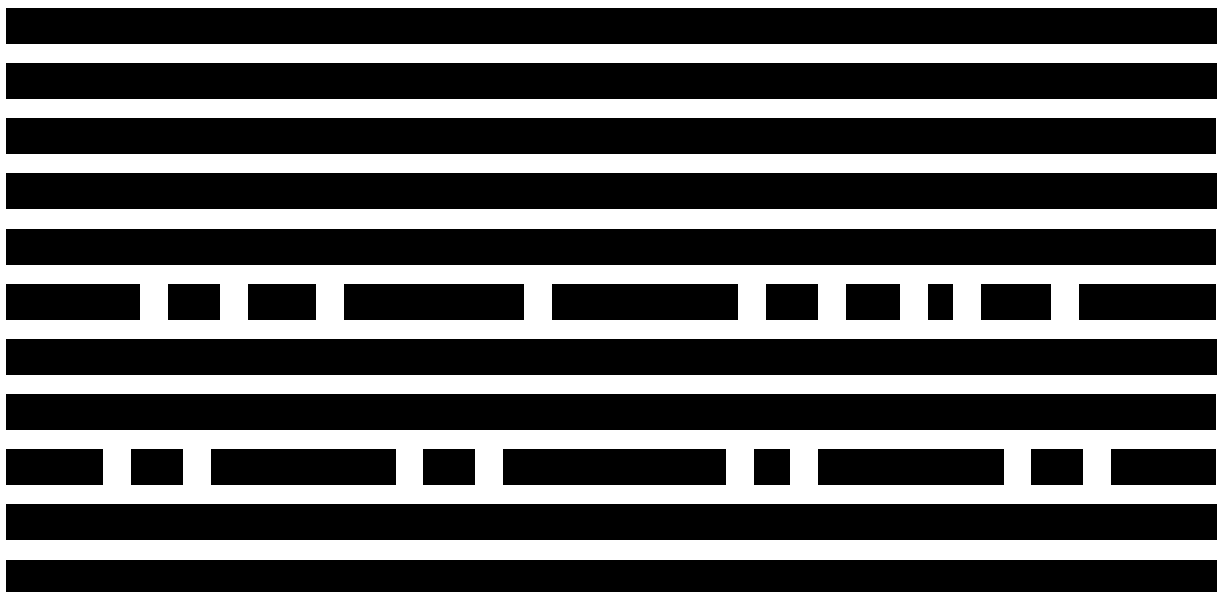
Het onderzoek in deze scriptie zal de waarde van 1.8 % hanteren voor de hoeveelheid vaste stoffen uit verf die in het water terecht komen als gevolg van *overspray*.

5. Gedrag van microplastics in het mariene milieu

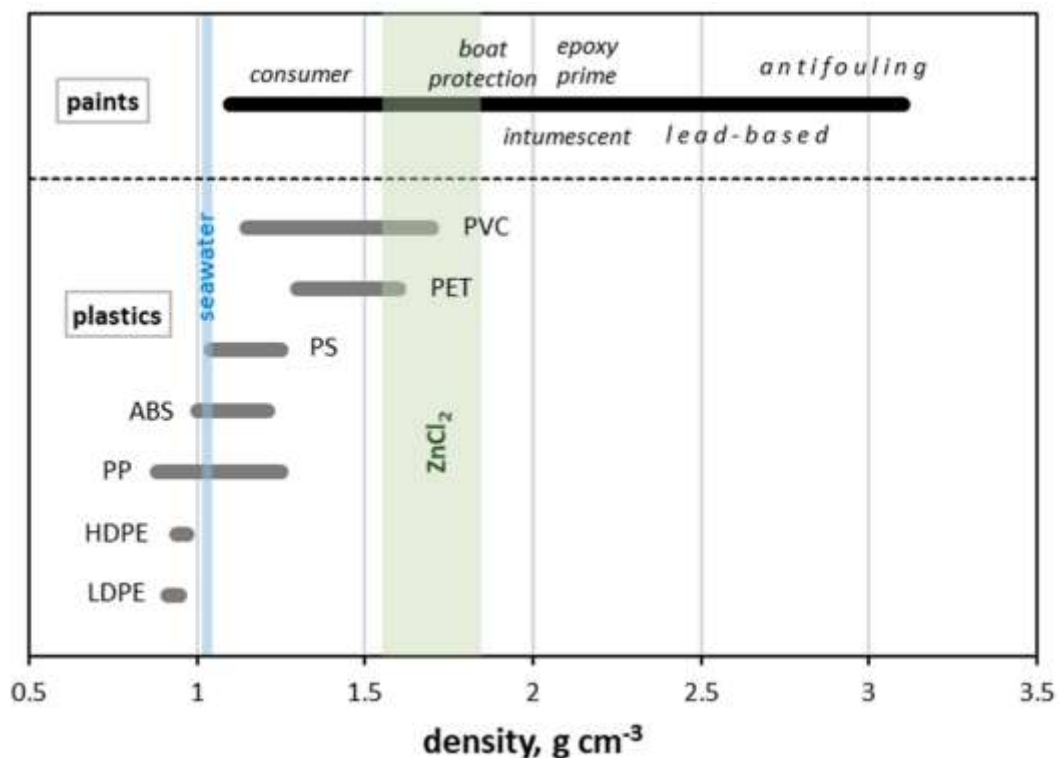
Plastics die zich verzameld hebben op land kunnen uiteindelijk eindigen in zee via een rivier of getransporteerd door de wind (De Troyer, 2015). Langs de andere kant brengt getij en de invloed van golven deze plastics juist terug naar land (De Troyer, 2015). Deze bewering is bevestigd door het onderzoek van Emmerik (2022). Hij verklaart dat 95 % van het plastic afval achterblijft in de sedimenten en bodem van de rivier.

Voor microplastics is er veel onduidelijkheid over hun verspreiding binnen natuurlijke systemen (Vercauteren et al., 2021). Er kan verwacht worden dat microplastics aanwezig zijn in het Vlaamse watermilieu (Vercauteren et al., 2021). De weinige studies die in Vlaanderen zijn uitgevoerd stellen in hun monsters vast dat 27 microplastics per liter in de Schelde aanwezig zijn (Vercauteren et al., 2021). Voor de sedimenten langs de Schelde kan er een totaal aan microplastics zijn dat varieert van 1800 tot 63000 per kilo sediment (De Troyer, 2015).

Elk microplastic deeltje gedraagt zich anders in een waterkolom. Dit door hun polymeertype, vorm, grootte, enzovoort. De chemische eigenschappen van een partikel bepalen de densiteit. Zo zullen microplastics deeltjes kleiner dan 1 g/cm^3 blijven drijven in zoetwater, terwijl partikels groter dan 1 g/cm^3 zullen zinken naar de bodem. De aanwezigheid van microplastics in een sediment of in de waterkolom kan een effect hebben op de verspreiding en transport van microplastic deeltjes (Vercauteren et al., 2021).



Er bestaat weinig literatuur over specifiek het filteren van verfdeeltjes in waterzuiveringsinstallaties. Wel is informatie te vinden over het filteren van microplastics in het algemeen. Zo is de effectiviteit van een waterzuiveringsinstallatie op basis van afzetting en zwaartekracht 40 tot 92 %. Zo valt op te merken dat de 40 % efficiëntie komt omdat er microplastics met een densiteit van 0.83 g/cm^3 tot 1.16 g/cm^3 in het water aanwezig zijn. Terwijl bij de 92 % efficiëntie het microplastics zijn met een hogere densiteit van 0.96 g/cm^3 tot 2.3 g/cm^3 . Hiermee wordt gesteld dat densiteit van de microplastics de efficiëntie van de waterzuivering op basis van zwaartekracht en afzetting bepaalt (Ngo et al., 2019). Het zuiveringspercentage wordt hoger geschat wanneer er enkel verfdeeltjes in het afvalwater aanwezig zijn, omdat de densiteit van verf hoger ligt (Figuur 15) die van conventionele plastics.



Figuur 15. Densiteit van verschillende plastic soorten en verf Turner (2021).

6. Wetgeving rond microplastics

Microplastics kunnen in de natuur terechtkomen, maar zijn niet biologisch afbreekbaar (ECHA, 2019). De Europese Unie wil tegen 2030, doelbewuste toegevoegde microplastics en het onbedoeld vrijkomen ervan in producten beperken en terugdringen (FOD, 2024). In 2023 is beslist bij de Europese Commissie en lidstaten om microplastics die in producten bewust zijn toegevoegd te verbieden, dit zijn onder andere glitters, bepaalde speelgoed en verf maar ook scrubs. Toch zijn in sommige cosmetica microplastics nog toegestaan tot 2035. In België is er een verbod op plastic producten dat maar eenmalig gebruikt wordt, zoals wattenstaafjes en plastic eetgerei (FOD, 2024).

Voor Vlaanderen is er VLAREM, of het Vlaams reglement, dat gaat over milieuvergunningen. Dit is een uitvoeringsbesluit van het decreet algemene bepalingen milieubeleid (DABM) bestaande uit 2 delen, VLAREM II en VLAREM III. Het hoofddoel van VLAREM is het voorkomen en beperken van milieuverontreiniging, hinder en veiligheidsrisico's van bedrijven en handelszaken. Het bevat een indelingslijst waar bedrijven op beoordeeld kunnen worden met betrekking tot hun impact op het milieu zoals: opslag van afval, geluidshinder, verbrandingsprocessen, enzovoort (Departement Omgeving, z.d.).

In VLAREM is in 2022 een wijziging aangebracht. Een definitie voor kunststof granulaat is toegevoegd, welke een overkoepelden term is voor (o.a. plastic) pellets, korrels, enzovoort. Er staat echter nog geen definitie voor microplastics (Vlaamse Regering, 2022). In VLAREM is beschreven hoe gebruikers moeten omgaan met deze kunststof granulaat en wat ze moeten doen bij het morsen van dit product. Er staan tevens voorzorgsmaatregelen voor het transport ervan (Vlaamse Regering, 2022). Ook al is kunststof granulaat geen microplastic, het toont wel aan dat er toch aandacht begint te komen in de Vlaamse regering voor emissie van kleinere stukjes plastic.

In het algemeen zijn er wel regels om microplastic productie en gebruik te verminderen, maar het is nog niet voldoende. Zo zou het interessanter zijn om het gebruik van synthetische polymeren in producten die verweren of regelmatig worden verwijderd, zoals sommige verven te verbieden. Gezien het voorgaande hebben de resultaten van het onderzoek uitgevoerd in het kader van deze scriptie geen wettelijke implicatie.

7. Methodologie

7.1 Onderzoeksdoel

Het doel van deze scriptie is het bepalen van de hoeveelheid microplastic deeltjes van het influent en effluent tijdens volgende werkzaamheden:

- Bij het verwijderen van aangroei van de romp (*high pressure wash*);
- Bij het schoonmaken van het dok na het einde van de werkzaamheden;

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Large redacted text block]

7.3 Aandachtspunten

[REDACTED]

[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]

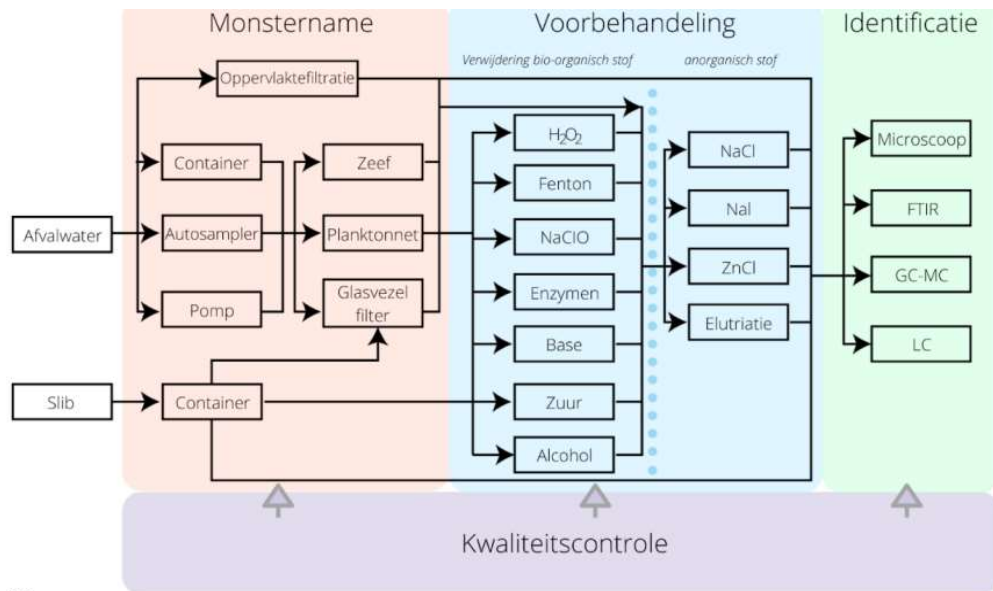
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
 - [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

bronnen worden gebruikt om de methode van dit onderzoek te onderbouwen (Stock et al., 2019) (Egmond et al., 2021).



24

Figuur 18. Stappenplan voor het meten van microplastic monsters (Egmond et al., 2021).

7.5 Voorzorgsmaatregelen voor nemen van monsters

Voor het nemen van monsters wordt er in meerdere gelijkende studies gestreefd naar zo weinig mogelijk contaminatie van externe microplastics (De Troyer, 2015; Vercauteren et al., 2021). Het materiaal dat gebruikt werd voor dit onderzoek, is gestockeerd in een propere ruimte die zo stofvrij mogelijk is gehouden. Bij het filteren en analyseren van de monsters is altijd katoenen kledij gedragen om contaminatie van synthetische kledij te vermijden (Vercauteren et al., 2021). Het bemonsterde water werd opgeslagen in een glazen fles om contaminatie te verminderen (De Troyer, 2015).

7.6 Monsternamen

Voor het type van bemonstering kan onderscheid gemaakt worden tussen verschillende methoden: selectieve bemonstering, volume gereduceerde bemonstering en bulkbemonstering. Bij selectieve bemonstering worden deeltjes direct

uit de natuur genomen. Deze deeltjes zijn waarneembaar met het blote oog. Deze methode is vooral geschikt voor deeltjes tussen 1 – 5 mm grootte. Bij volume gereduceerde bemonstering wordt het volume van het water gereduceerd tijdens de bemonstering. Enkel het residu blijft achter voor analyse. Tijdens bulkbemonstering zal het volume behouden blijven tijdens het bemonsteringsproces (Razeghi et al., 2021).

In sommige studies worden de termen ‘in-lab’ en ‘on-site’ gebruikt. In-lab bemonsteringen gebeurt het filteren van de monsters in een lab met gelimiteerde hoeveelheden van 1 liter tot 20 liter, terwijl bij een on-site bemonstering de vloeistof gefiltreerd wordt op de locatie zelf en de hoeveelheden volumes die gefilterd worden kunnen oplopen tot duizenden liters (Almuhtaram & Andrews, 2022).

Er is een gelijkenis tussen on-site en volume gereduceerde bemonstering en in-lab met bulkbemonstering. Selectieve bemonstering wordt niet gebruikt in dit onderzoek omdat de deeltjes in de tweede bak van waterzuiveringsinstallatie kleiner zijn dan 1 mm.

7.6.1 Bulkbemonstering (in-lab)

Bij in-lab bulkbemonstering wordt gebruikgemaakt van een emmer of een fles die in een desbetreffende vloeistof wordt ondergedompeld (Sartain et al., 2021). Deze methode heeft als nadeel dat een kleiner volume aan water wordt getest, dit zijn slechts enkele liters (ITRC, 2023). Het voordeel is dat deze methode gebruiksvriendelijker is in vergelijking met andere methodes (Egmond et al., 2021). Deze methode kan worden gebruikt wanneer vervuild water bemonsterd dient te worden. Voor deze scriptie gaat de voorkeur uit naar bulkbemonstering, omdat deze methode gebruiksvriendelijk is en het mogelijk maakt om het vervuilde water van het influent te zeven.

7.6.2 Volume gereduceerde bemonstering (on-site)

Voor volume gereduceerde bemonstering is een breder aanbod van methodes, zoals een pompbemonstering of een manta trawl (Razeghi et al., 2021). Voor beide methodes kan een grote hoeveelheid aan volume worden bemonsterd in een bepaalde periode. Het grote voordeel is dat de deeltjes geconcentreerd in het net of zeef achterblijven (Stock et al., 2019). Een nadeel is wel dat de zeef snel kan dichtslippen (Bakaraki Turan et al., 2021). Bemonstering met een net of trawl is niet van toepassing

voor dit onderzoek, gezien het relatief kleine te bemonsteren wateroppervlakte. Deze methode wordt meestal gebruikt bij het nemen van monsters vanaf een vaartuig. Voor de pompbemonstering wordt er een vloeistof met de pomp opgepompt dewelke manueel of door een motor aangedreven is en door een zeef wordt geleid (Razeghi et al., 2021). De on-site bemonsteringmethode zal niet worden gebruikt voor deze scriptie. De redenen hiervoor zijn het snel dichtslippen van de zeef en dat de locaties voor het nemen van de monsters dit niet toestaan.

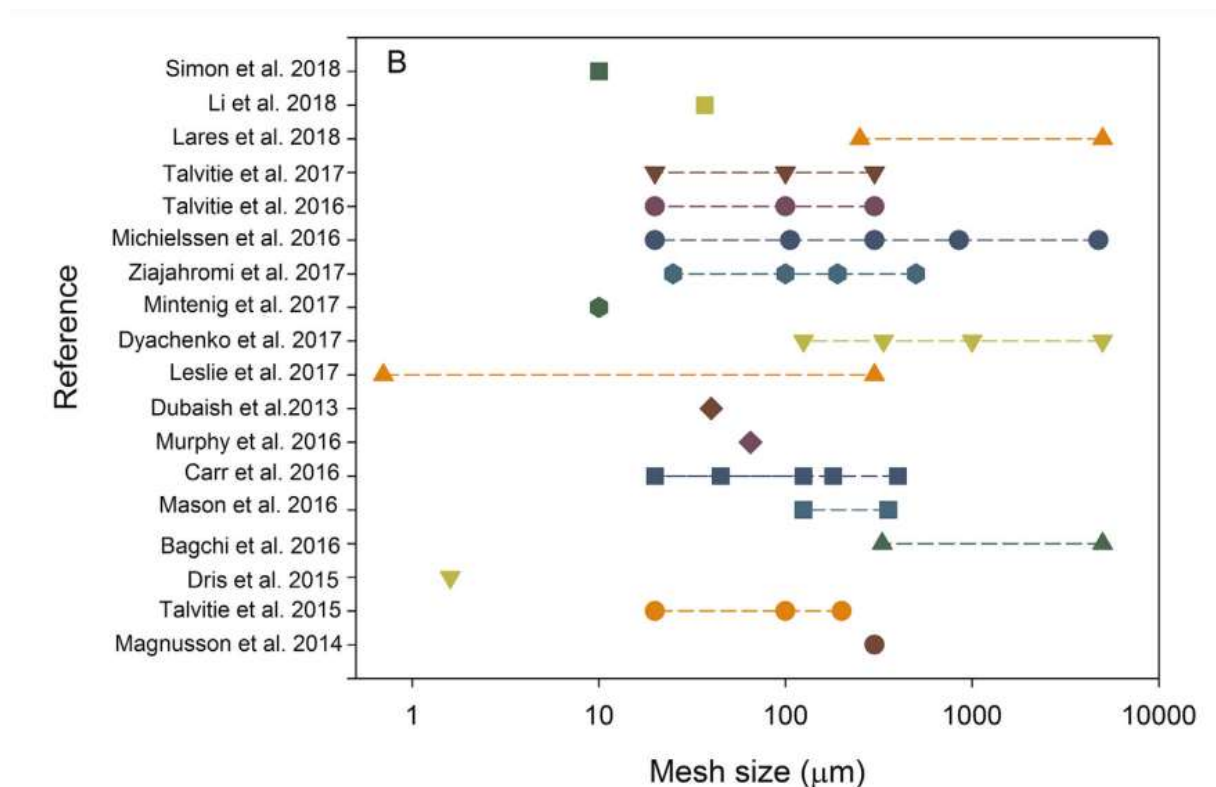
7.6.3 Zeef

De maaswijdte of poriegrootte heeft een grote invloed op de hoeveelheid microplastics dat wordt opgevangen. In 2023 is nog geen gestandaardiseerde maaswijdte of poriegrootte. Deze variëren tussen 1 μm en 5 mm. Verder kunnen microplastics kleiner dan de maaswijdte worden tegengehouden door hun onregelmatige vorm, dit zorgt voor overschatting van de vooraf bepaalde grens. Hetzelfde kan zich voordoen als lange plastic vezels in hun lengterichting door de mazen glippen, wat resulteert in een onderschatting (Egmond et al., 2021).

De maaswijdte wordt grotendeels bepaald aan de hand van het studiedoel. Ook de omgevingsfactoren zijn bij de bemonstering van belang. Het is belangrijk dat de juiste waterdiepte en het juiste bemonsteringsvolume zorgvuldig bepaald wordt zodat het monster een representatieve afspiegeling is van het waterlichaam. Bemonstering volumes moeten zo groot mogelijk zijn om overschatting te reduceren. Het is bekend dat bemonstering met een pomp en een zeef redelijk betrouwbare resultaten bieden (Razeghi et al., 2021).

Omdat er geen standaardisatie is voor het bepalen van de maaswijdte wordt voor deze scriptie gekeken naar gelijkaardige studies met de focus op het meten van microplastics bij afvalwaterzuiveringsinstallaties (Figuur 19). Bij een microplastic onderzoek aan een afvalwaterzuiveringsinstallatie in Plattsburgh Amerika is gebruik gemaakt van een 355 μm zeef in combinatie met een pomp gedurende 24 uur (Koritkowski, 2020). Deze maaswijdte komt overeen wat er staat beschreven in de online bemonstering tool die aanbevelingen genereert voor maaswijdten voor verschillende onderzoeken. Voor een onderzoek naar microplastics is de geschikte maaswijdte volgens de tool tussen de 43 μm tot 355 μm (ITRC, 2023). Uit Figuur 19,

dat een overzicht geeft van gebruikte maaswijdtes in vergelijking met die van andere studies rond microplastics kan worden vastgesteld dat de gebruikte maaswijdte in veel onderzoeken tussen de 0.1 mm en 1 mm ligt. Het onderzoek kan ook uitgevoerd worden met twee of meer zeven boven elkaar. Zo kan er niet enkel de microplastics onderverdelen in groepen maar het zorgt er ook voor dat de zeef niet snel dichtslibt. Een nadeel is dat de maaswijdte categorieën van de zeven niet altijd precies gecorreleerd zijn met de grootte van de microplastics (Sun et al., 2019).



Figuur 19. Gebruikte maaswijdte bij verschillende onderzoeken naar microplastics in afvalwaterzuiveringsinstallaties (Sun et al., 2019).

Het verkleinen van de maaswijdte gaat gepaard met het verkleinen van het volume water dat bemonsterd wordt (Tamminga et al., 2022). In de studie van Alexander e.a. (2020) wordt een staal van 10 liter genomen in totaal op 1 monster site van een afvalwaterzuiveringsinstallatie, deze werd in het lab door een 25 μm gezeefd. Het resultaat van deze studie bleek dat het kleinste microplastic deeltje een grootte had van 54 μm en de grootste een afmeting van 1277 μm , de gemiddelde grootte lag rond

de 392 μm . Als in dit onderzoek een grotere maasgrootte gekozen was, lag de gemeten gemiddelde grootte van de microplastics wellicht hoger. Om representatieve resultaten te verkrijgen wordt in deze scriptie een kleinere maaswijdte gebruikt, dit gaat om maaswijdte 100 μm en 44 μm . De maaswijdte is bepaald aan de hand van studies die gebruik maakten van bulk bemonstering, bemonstering van kleine volumes en op basis van resultaten zoals in de studies van (Tagg et al., 2020), (Talvitie et al., 2015). Deze studies hebben rekening gehouden met de representativiteit van de gemiddelde grootte van de microplastics.

7.6.4 Monstername: de gekozen methode voor dit onderzoek

Voor deze scriptie wordt er op basis van kop 7.6.1 tot en met 7.6.3 gekozen voor het nemen van bulkbemonstering, op basis van de volgende onderbouwing:

- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Voor de bulkbemonstering in dit onderzoek is gekozen om een totaal van 10 liter te bemonsteren van elke onderstaande locaties (Vercauteren et al., 2021), (Tagg et al., 2020), (Covernton et al., 2019):

- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]

Voor dit onderzoek is per locatie in een totale tijdsperiode van 180 minuten om de 20 minuten een staal van 1 liter afgenomen. [redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

In het laboratorium gaan de 1 liter monsters elk apart door een zeefconstructie (Figuur 20). Tussen elke koppeling bevindt zich een zeef van roestvrij staal. De bovenste zeef heeft een maaswijdte van 100 μm en de onderste een maaswijdte van 44 μm . De keuze voor deze afmetingen is om de microplastics van 2 grootten te onderscheiden, namelijk de groep met een bereik van 44 μm – 100 μm en > 100 μm . Dit is om te bepalen of er bepaalde grootten van microplastics meer of minder voorkomen op de verschillende locaties. De maaswijdte is bepaald aan de hand van studies die gebruik maakten van bulk bemonstering, zie kop 7.6.3.



Figuur 20. Transparante buis voor filteren microplastics (Talvitie et. al., 2015).

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



7.7 Reduceren van de monsters

De materie die achterblijft op de filters wordt verzameld met behulp van een pipettoestel ingesteld op 1 ml en wordt zorgvuldig in centrifugeerbuisjes van 15 ml bewaard. Telkens wordt gedemineraliseerd water met de pipet opgezogen en vervolgens van de filter afgespoten in een centrifugebuisje. De gebruikte hoeveelheid aan gedemineraliseerde water wordt genoteerd voor extrapolatie achteraf. Voor de analyse wordt met een pipet 1 ml van het geconcentreerde staal uit het centrifugeerbuisje gezogen. Extrapoleren van de monsters is achteraf nodig omdat er maar 1 ml is geanalyseerd van het totale volume dat zich in het buisje bevindt. De formule voor extrapolatie is het volgende $C=(N*V)/X$, waar C de totale hoeveelheid aan microplastics is in het buisje, N het aantal getelde microplastics is, V het volume van het monster in ml is en X is het volume van het deelmonster in ml (Shabaka et al., 2020).

7.8 Voorbehandeling

Nadat de monsters genomen zijn worden ze, om de analyse te vergemakkelijken, behandeld tegen de aanwezigheid van organisch en anorganisch materiaal . Volgens

de studie van Schrank e.a. (2022) is de optimale behandeling goedkoop, snel, makkelijk en effectief. In verschillende studies worden telkens andere methodes gebruikt. Veel van de methodes werken misschien wel effectief voor zuivering maar kunnen de microplastic deeltjes aantasten. Zo valt er een onderverdeling te maken in de soort voorbehandelingen namelijk de alkalische (base) voorbehandelingen, voorbehandeling met zuren, enzymatische voorbehandeling en densiteitscheidingsvoorbehandelingen. Bij de voorbehandeling dient er rekening te worden gehouden met verfdeeltjes die bestaan uit microplastics, aangezien sommige voorbehandelingen deze verfdeeltjes kunnen aantasten. Bij het uitschenken van de monstervloeistoffen moet hierin geroerd worden, zodat de deeltjes niet op de bodem van de fles bezinken (Rijkswaterstaat, 1987).

7.8.1 Voorbehandeling met base

Tabel 3. Voor en nadelen van een base voorbehandeling (eigen werk).

Oplosmiddel	Voordelen	Nadelen
Natriumhydroxide (NaOH)	Effectief voor oplossen van dierlijke materie (Schrank et al., 2022). Meeste organische materiaal wordt vernietigd (Stock et al., 2019).	Sommige polymeren worden aangetast zoals PC, CA, PET, PVC (Stock et al., 2019). Verlies van monsters doordat deeltjes verloren gaan (Bakaraki Turan et al., 2021).
Kaliumhydroxide (KOH)	Effectief voor oplossen dierlijke materie (Schrank et al., 2022). Meeste organische materiaal wordt vernietigd, meeste polymeren zijn resistent (Stock et al., 2019).	Verlies van monsters doordat deeltjes verloren gaan (Bakaraki Turan et al., 2021).

7.8.2 Voorbehandeling via oxidatie

Tabel 4. Voor en nadelen van een oxidatie voorbehandeling (eigen werk).

Oplosmiddel	Voordelen	Nadelen
Waterstofperoxide (H_2O_2)	Lost natuurlijk materiaal goed op (Gondikas et al., 2023), (Stock et al., 2019). Een simpele en veelvoorkomend stof voor het oplossen van onzuiverheden (Bakaraki Turan et al., 2021).	Bleekt verfdeeltjes (Gondikas et al., 2023). Polymeren kunnen worden aangetast (Stock et al., 2019). Verkleuren van polyester en polyethylene , lange inwerktijd tot 10 dagen afhankelijk van de hoeveelheid organisch materiaal (Bakaraki Turan et al., 2021).

7.8.3 Voorbehandeling met zuur

Tabel 5. Voor en nadelen van een voorbehandeling met zuur (eigen werk).

Oplosmiddel	Voordelen	Nadelen
Zoutzuur (HCl)	Vernietiging natuurlijke deeltjes en biologische materie (Bakaraki Turan et al., 2021).	Mogelijkheid tot het vernietigen van sommige polymeren door de agressiviteit van het zuur (Bakaraki Turan et al., 2021). Niet al het organisch materiaal is vernietigd (Stock et al., 2019).

7.8.4 Voorbehandeling met enzymen

Tabel 6. Voor en nadelen van een Enzymen voorbehandeling (eigen werk).

Oplosmiddel	Voordelen	Nadelen
proteinase-K, cellulose, lipase, protease, chitinase	Meeste organisch materiaal vernietigd en niet giftig (Stock et al., 2019). Geen schade aan Microplastics (Bakaraki Turan et al., 2021).	Tijdrovend, verschillende enzymen voor een ander monster (Stock et al., 2019). Redelijk duur (Bakaraki Turan et al., 2021), (Stock et al., 2019)

7.8.5 Voorbehandeling via densiteitscheiding

Bij een densiteitscheiding wordt een zoutverzadigde oplossing toegevoegd aan het te behandelen monster. Dit kan zinkchloride (ZnCl_2), natriumchloride (NaCl) of natriumjodide (NaI) zijn. Het meest gebruikte en efficiënte reageermiddel hiervan is ZnCl_2 (Rodrigues et al., 2020). Volgens Stock e.a. (2019) wordt deze methode toegepast na een chemische en of enzymatische behandeling. Dit wordt gebruikt om het onopgeloste anorganisch en sediment van het monster te doen scheiden van de microplastics. Na deze behandeling zullen de microplastics met een lage densiteit ($0.8 - 1.4 \text{ g/cm}^3$) op het oppervlak drijven. Hierna kunnen ze gescheiden worden met een scheidingstrechter. Als meer specifiek gekeken wordt naar verfdeeltjes (Figuur 15) valt op te merken dat mariene verf eerder zal zinken bij gebruik van ZnCl_2 dewelke een densiteit heeft tussen de $1.6 - 1.8 \text{ g/cm}^3$ (Turner, 2021).

Deze methode zal geen invloed hebben voor het verwijderen van sediment en anorganisch materiaal aangezien deze mee naar de bodem zinken samen met de verfdeeltjes. Dat is de reden waarom deze methode voor dit onderzoek ook niet gebruikt wordt. Omdat het onderzoek plaatsvindt in een droogdok waar schepen behandeld worden is het onderzoek ook meer gericht naar de contaminatie afkomstig van deze verf van schepen. Omdat er veel materialen in zitten die geen microplastic zijn bestaat de kans dat de lichte van de zware deeltjes gescheiden zijn, maar dat er veel andere materialen tussen drijven zoals steen en metaal.

7.8.6 Keuze voorbehandeling onderzoek

Voor deze studie is er gekozen om geen voorbehandeling te doen omwille van volgende redenen:

- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED]

7.9 Identificatie

Voor identificatie kan er onderscheid gemaakt worden tussen fysieke en chemische identificatie. Voorbeelden hiervan zijn (stereo)microscopie (fysiek) en μ FTIR (chemisch) (Egmond et al., 2021). Voor deze studie wordt chemische identificatie niet gekozen doordat analyse van een monster kan oplopen tot enkele duizenden euro's (Meyers et al., 2024). De focus zal liggen op fysieke identificatie.

Het gebruik van een (stereo)microscoop komt vaak voor bij onderzoeken naar microplastics, omdat deze methode van identificatie relatief eenvoudig is (Egmond et al., 2021). Echter, Egmond et al. (2021) beschrijven dat deze methode ook een aantal nadelen en onnauwkeurigheden bevat, onder andere:

- Hoe meer wordt ingezoomd, hoe groter de kans dat meer deeltjes zichtbaar worden. Voor een afnemende deeltjesgrootte zal de foutenmarge toenemen;
- De methode is tijdrovend;
- Deeltjes kleiner dan 1 μ m zijn microscopisch niet meer waar te nemen;
- Bij een grote hoeveelheid microplastics kunnen deeltjes dubbel geteld of zelfs gemist worden als deze overlappen;
- Met hetzelfde monster kunnen 2 onderzoekers een ander resultaat bekomen omdat het afhankelijk is van visuele interpretatie;

- Het kan moeilijk zijn om met een microscoop een onderscheid te maken tussen synthetische en natuurlijke materialen;
- Deeltjes met dezelfde kleur als de achtergrond kunnen over het hoofd gezien worden.

Egmond et al. (2021) leggen uit dat er verschillende maatregelen zijn om enkele van de bovengenoemde problemen te voorkomen en onnauwkeurigheden te verminderen.

- Een eigenschap die synthetische vezels onderscheidt van natuurlijke is dat synthetische vezels vaak een gelijke dikte hebben over de gehele lengte, terwijl dit bij natuurlijke vezels niet het geval is;
- Vezels die lastig zijn te onderscheiden zoals groene en doorzichtige deeltjes moeten onderzocht worden onder een grotere vergroting om hun aard te kunnen bepalen;
- Hitte kan gebruikt worden om synthetische vezels te onderscheiden van natuurlijke. Kunststoffen gaan smelten onder blootstelling van hitte;
- Om de telling te vergemakkelijken kan er gebruik gemaakt worden van gerasterde en genummerde petri-schaaltjes.

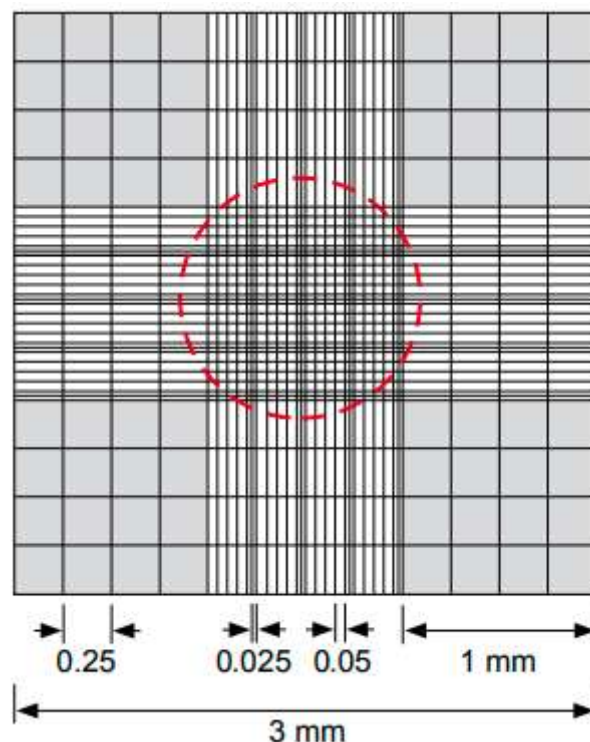
Een paar extra punten kunnen worden toegevoegd over het onderscheid tussen natuurlijke en synthetische deeltjes. Bij twijfel kan met een dunne naald op het verdacht deeltje gedrukt worden. Als deze breekt is het natuurlijk, buigt het of veert het dan is het synthetisch. Microplastics zijn vaak kleurrijk en tel daarom enkel de deeltjes waarvan zeker is dat deze microplastics zijn (Sartain et al., 2021).

Microplastics kunnen tijdens de analyse geclassificeerd en geteld worden naargelang hun vorm, kleur en grootte (Huang et al., 2023). De vorm van microplastics kan verder onderverdeeld worden in fragmenten, vezels en bollen (Covernton et al., 2019). Verfdeeltjes hebben typische hoekachtige vormen, ze zijn broos en gelaagd in vergelijking met andere soorten microplastics door hun lage hoeveelheid aan polymeren (Almuhtaram & Andrews, 2022).

7.9.1 Keuze analysemethode

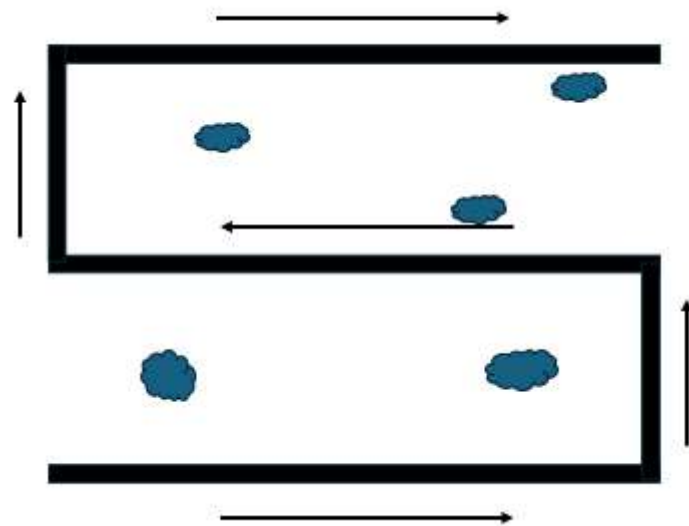
Deze studie gebruikt visuele identificatie met behulp van een UZMAN stereomicroscoop met vergroting van 20x aan het oculair en nog eens 2x aan het

objectief. Deze methode is gekozen op basis van de beschikbaarheid vanuit de universiteit. Nadeel hiervan is dat het veel tijd in beslag neemt om de microplastic deeltjes te tellen en het maar een nauwkeurigheid heeft van 70% (Sun et al., 2019). Zoals eerder genoemd vergroot de onnauwkeurigheid als het deeltje grootte verkleint (Sun et al., 2019). Deze onnauwkeurigheid verkleint door de aandachtspunten van Egmond et al.(2021) te volgen. Het tellen van de microplastics onder de microscoop is gebeurt door het gebruik van een Neubauer tel grit. Dit grit wordt normaal gebruikt voor het tellen van cellen maar kan ook gebruikt worden voor het tellen van microplastics. Het verhoogt de nauwkeurigheid, vermindert foute tellingen van de gebruiker en vergemakkelijkt het gebruik (Silva et al., 2022). Een ander voordeel van een Neubauer grit is dat de afmetingen van de geobserveerde deeltjes kunnen worden geschat, zie Figuur 21. Dit is mogelijk door de vierkantjes die aanwezig zijn. Er is van elk microplastic deeltje een foto genomen dat geclassificeerd wordt naar gelang vorm en kleur.



Figuur 21. Neubauer tel plaatje met afmetingen (Dutscher, 2010).

Het patroon dat gevolgd wordt tijdens het tellen van de deeltjes op het Neubauer grit gaat staat geïllustreerd in Figuur 22. Patroon voor microplastics te analyseren gebaseerd op de uitleg van Shabaka et al., (2020) (eigen werk). Op deze manier kan het hele vlak worden geobserveerd en gefotografeerd (Shabaka et al., 2020). Vervolgens zijn de foto's van het bijhorende monster [REDACTED] bestand samengevoegd waar deze zijn geteld door middel van turven en het deeltje op de foto aan te duiden als waargenomen. Op deze manier verkleint de kans op een onnauwkeurigheid en het dubbel tellen van een deeltje.



Figuur 22. Patroon voor microplastics te analyseren gebaseerd op de uitleg van Shabaka et al., (2020) (eigen werk).

Een ander aspect dat belangrijk is zijn de gebruikte eenheden. Ook hier is het probleem dat er geen gestandaardiseerde eenheid is, waardoor resultaten van andere studies niet met elkaar vergeleken kunnen worden. In 2013 kaartte de “Guidance on monitoring of marine litter in European Seas” aan dat MP/m^3 een interessante eenheid is voor het meten van microplastics (Cutroneo et al., 2020). Maar als er gekeken wordt naar studies is er een uitloop van verschillende eenheden, zoals in de studie van Talvitie et al. (2015) waar als eenheid MP/liter werd gehanteerd. Ook in de studie van Tagg et al. (2020) staat MP/liter als eenheid, bij die studie werden er bulkstalen genomen wat ook gedaan gaat worden in deze scriptie. Om deze reden zal het resultaat weergegeven worden in MP/liter .

7.10 Onderzoeksubject

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

I [REDACTED]
I [REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]				
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]
				[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]
				[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

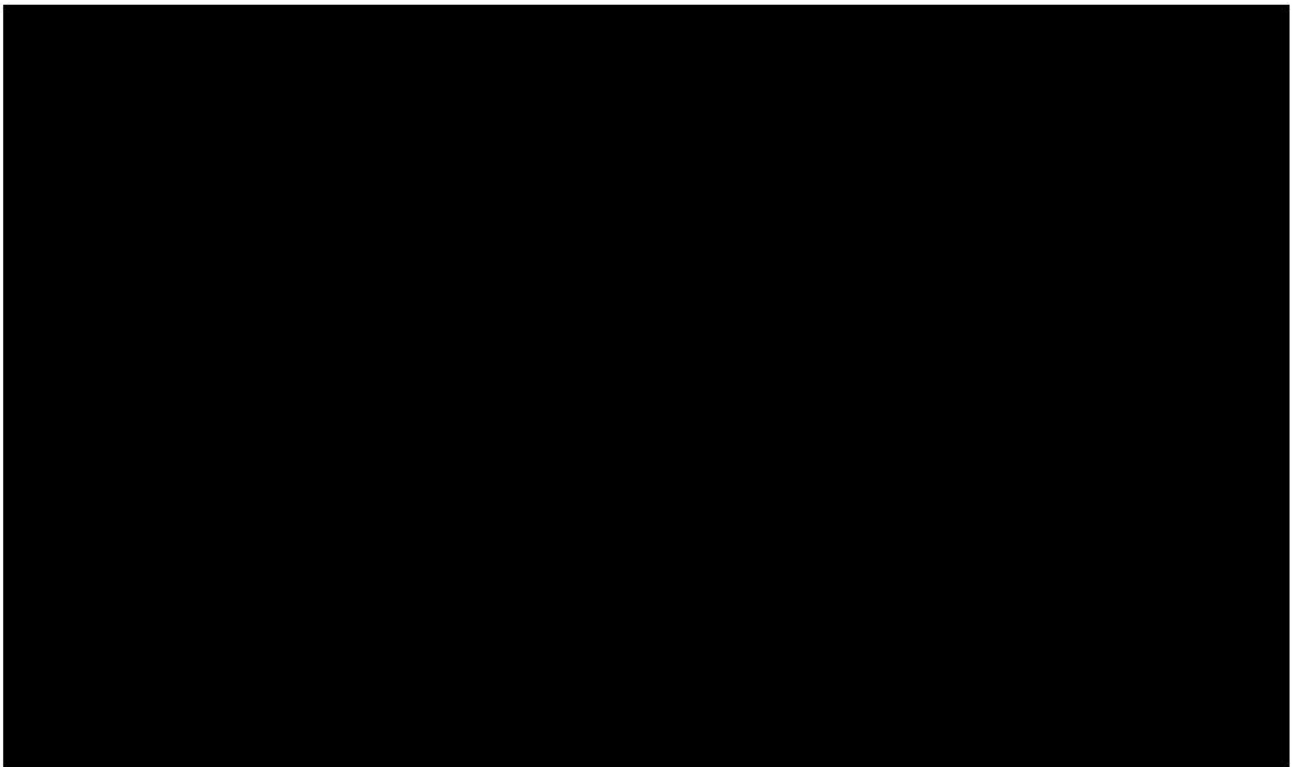
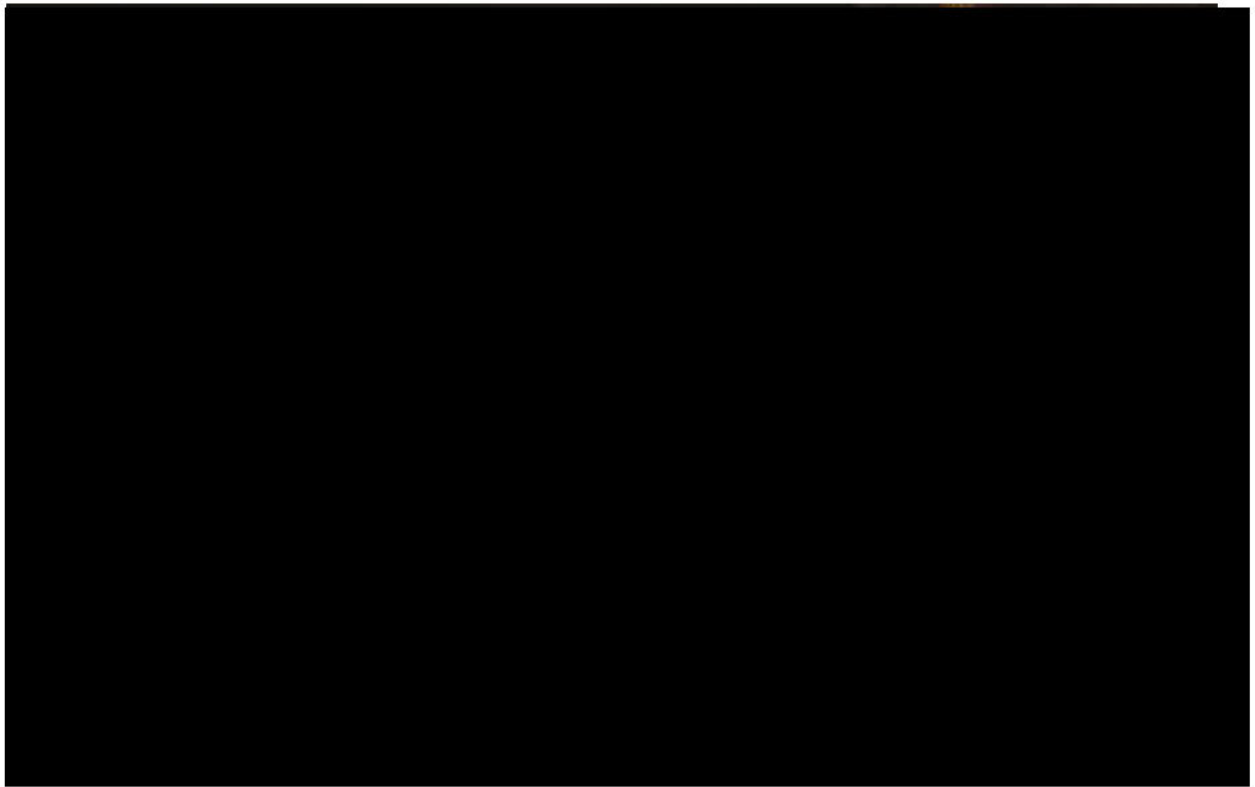
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

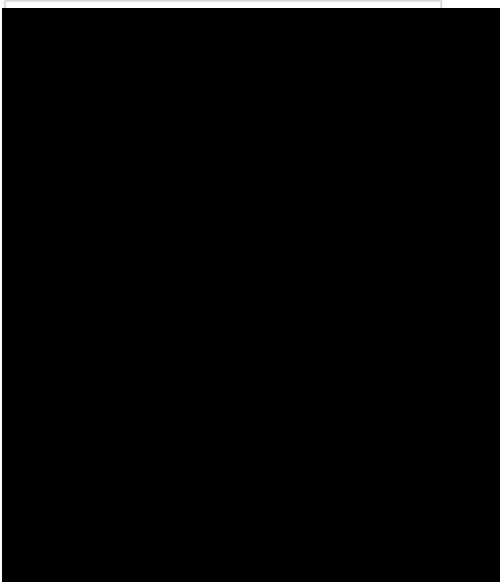
[REDACTED]

[REDACTED]

8. Resultaten

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text line]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

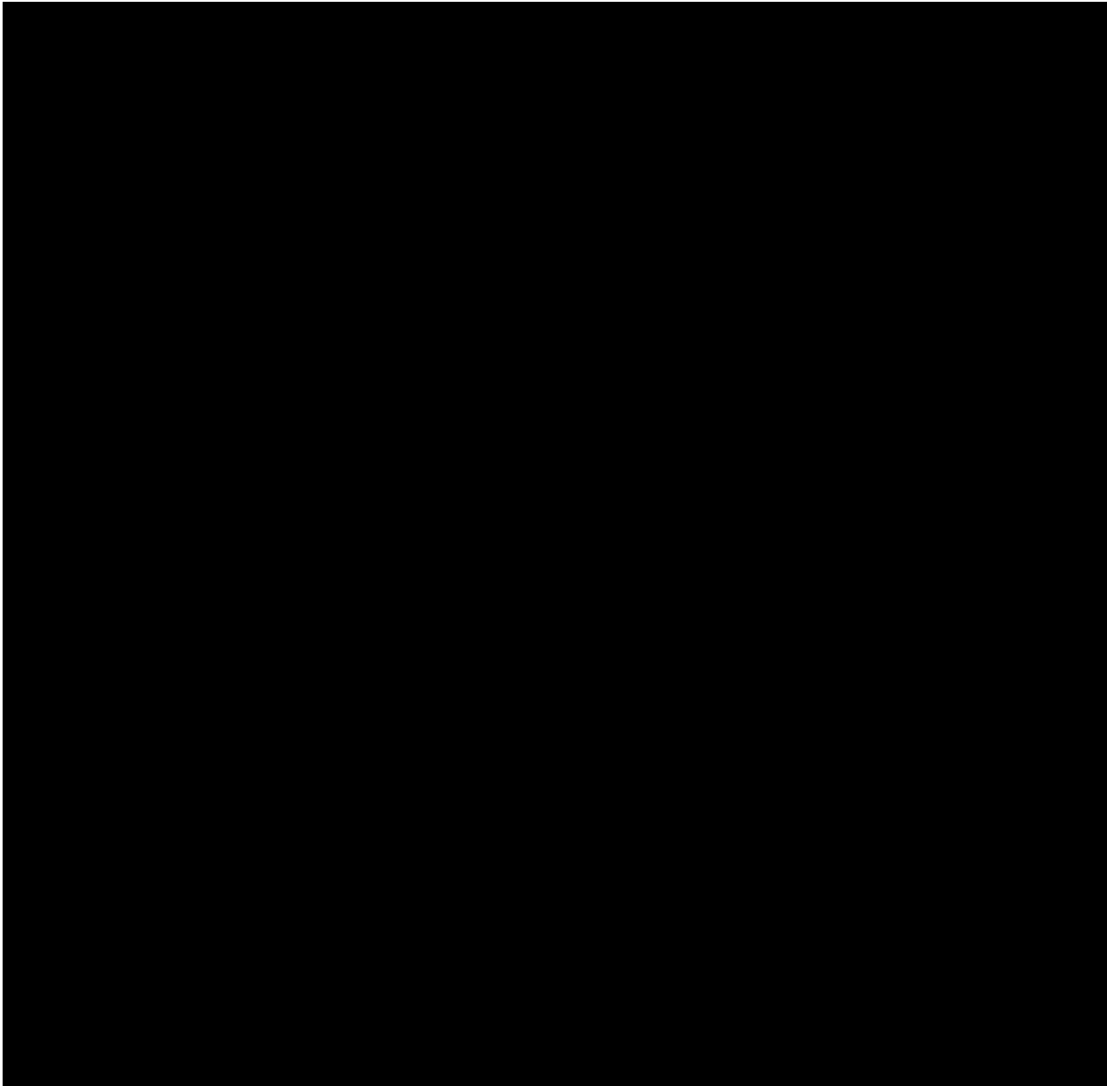
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[illegible][illegible]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

10. Conclusie

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

11.Bibliografie

- Acarer, S. (2023). Microplastics in wastewater treatment plants: Sources, properties, removal efficiency, removal mechanisms, and interactions with pollutants. *Water Science and Technology*, 87(3), 685-710.
<https://doi.org/10.2166/wst.2023.022>
- Almuhtaram, H., & Andrews, R. C. (2022). Sampling Microplastics in Water Matrices: A Need for Standardization. *ACS ES&T Water*, 2(8), 1276-1278.
<https://doi.org/10.1021/acsestwater.2c00236>
- Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris*. National Oceanic and Atmospheric Administration.
https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/TM_NOS-ORR_30.pdf
- Bakaraki Turan, N., Sari Erkan, H., & Onkal Engin, G. (2021). Microplastics in wastewater treatment plants: Occurrence, fate and identification. *Process Safety and Environmental Protection*, 146, 77-84.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.039>
- Bandeira, R. M., Van Druenen, J., Tremiliosi-Filho, G., Dos Santos, J. R., & De Matos, J. M. E. (2017). Polyaniline/polyvinyl chloride blended coatings for the corrosion protection of carbon steel. *Progress in Organic Coatings*, 106, 50-59. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.02.009>
- BCF. (2024). *Microplastics in paint*. <https://coatings.org.uk/page/Microplastic-Paint-in-the-Ocean>
- Boucher, J., & Friot, D. (2017). *Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources*. IUCN International Union for Conservation of Nature.
<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>
- Brännström, S., Rosengren, H., Wrangé, A.-L., & Olshammar, M. (2023). *Microplastic Emissions from Paint* (7; p. 86). Swedish Meteorological and Hydrological Institute. <https://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1811470/FULLTEXT01.pdf>
- Choi, Y., Kim, M., Hong, C. P., Kang, J.-H., & Jung, J.-H. (2020). Is hull cleaning wastewater a potential source of developmental toxicity on coastal non-target

- organisms? *Aquatic Toxicology*, 227, 105615.
<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105615>
- CMP CHUGOKU. (z.d.). *Product Documentation*. <https://www.cmp-chugoku.com/global/product/product-documentation.html>
- CMP CHUGOKU. (2020). *SILVAX SQ-K*. https://www.toa-chugoku.com/file_upload/product/tech/silvax_sq-k_-_jan_en-th.pdf
- Covernton, G. A., Pearce, C. M., Gurney-Smith, H. J., Chastain, S. G., Ross, P. S., Dower, J. F., & Dudas, S. E. (2019). Size and shape matter: A preliminary analysis of microplastic sampling technique in seawater studies with implications for ecological risk assessment. *Science of The Total Environment*, 667, 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.346>
- Cutroneo, L., Reboa, A., Besio, G., Borgogno, F., Canesi, L., Canuto, S., Dara, M., Enrile, F., Forioso, I., Greco, G., Lenoble, V., Malatesta, A., Mounier, S., Petrillo, M., Rovetta, R., Stocchino, A., Tesan, J., Vagge, G., & Capello, M. (2020). Microplastics in seawater: Sampling strategies, laboratory methodologies, and identification techniques applied to port environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 8938-8952.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-07783-8>
- DAMEN. (2024). *Docking Systems*. <https://www.damen.com/vessels/shipyards-and-docks/docking-systems>
- De Troyer, N. (2015). *Occurrence and distribution of microplastics in the Scheldt river* [Masterproef]. https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/217/189/RUG01-002217189_2015_0001_AC.pdf
- Departement Omgeving. (z.d.). *VLAREM*. <https://omgeving.vlaanderen.be/nl/vlarem>
- Dokkum, K. van. (2012). *Scheepskennis* (4e [verb. en aangevulde] dr). DOKMAR.
- Dutscher. (2010). *Counting grids*.
https://www.dutscher.com/data/pdf_guides/en/AMMARA.pdf
- ECHA. (2019). *Microplastics*. <https://echa.europa.eu/hot-topics/microplastics>
- Egmond, J.-L. van, Brummelkamp, J., & Kreuk, M. de. (2021). *Verkenning van verwijderingsroutes microplastics in de rwzi*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- Emmerik, T. (2022, maart 22). *Rivieren houden plastic decennialang vast*. WUR.
<https://www.wur.nl/nl/nieuws/rivieren-houden-plastic-decennialang-vast.htm>

- Erni-Cassola, G., Dolf, R., & Burkhardt-Holm, P. (2024). Microplastics in the Water Column of the Rhine River Near Basel: 22 Months of Sampling. *Environmental Science & Technology*, 58(12), 5491-5499.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08364>
- Faber, M., Marinković, M., de Valk, E., & Waaijers- van der Loop, S. (2021). *Paints and microplastics. Exploring the possibilities to reduce the use and release of microplastics from paints. Feedback from the paint sector*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2021-0037>
- FOD. (2024). *Kunststoffen en microplastics*.
<https://www.health.belgium.be/nl/milieu/chemische-stoffen/kunststoffen-en-microplastics>
- Freriks, I., Van Oversteeg, C., & Zemmeling, H. (2023). *Op weg naar microplastics monitoring in rivieren* (p. 47). Rijkswaterstaat.
- Frydenberg, T. (2022). *Characterisation and Release Mechanisms of Aerogel-encapsulated Biocides for Antifouling Coatings* [Technical University of Denmark].
https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/310399716/PhD_Thesis_Tenna_Frydenberg_Compressed.pdf
- Ghazi H., E., & Aldhafiri, KH. M. (2021, mei 25). *Automotive Spray Gun Technologies*. 22-30.
- Gondikas, A., Mattsson, K., & Hassellöv, M. (2023). Methods for the detection and characterization of boat paint microplastics in the marine environment. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 4, 1090704.
<https://doi.org/10.3389/fenvc.2023.1090704>
- Hakim, M. L., Nugroho, B., Nurrohman, M. N., Suastika, I. K., & Utama, I. K. A. P. (2019). Investigation of fuel consumption on an operating ship due to biofouling growth and quality of anti-fouling coating. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 339(1), 012037.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/339/1/012037>
- Huang, Z., Hu, B., & Wang, H. (2023). Analytical methods for microplastics in the environment: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 383-401.
<https://doi.org/10.1007/s10311-022-01525-7>
- IMO. (2019). *Hull Scrapings and Marine Coatings as a Source of Microplastics*.

- ISO. (2023). *Principles for the analysis of microplastics present in the environment*.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:24187:ed-1:v1:en>
- ITRC. (2023). *Microplastics Sampling Method Selection Tool*. <https://mp-1.itrcweb.org/sampling-web-tool/>
- Kazemi, M., Faisal Kabir, S., & Fini, E. H. (2021). State of the art in recycling waste thermoplastics and thermosets and their applications in construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105776.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105776>
- Koritkowski, C. (Regisseur). (2020). *Examining Microplastics in Effluent Wastewater*.
https://www.youtube.com/watch?v=doo-lkmrskY&t=54s&ab_channel=FessParker-Topic
- Lassen, C., Foss Hansen, S., Magnusson, K., Norén, F., Isabella Bloch Hartmann, N., Rehne Jensen, P., Gissel Nielsen, T., & Brinch., A. (2015). *Microplastics—Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark* (Environmental Project 1793; p. 205). The Danish Environmental Protection Agency. <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2015/10/978-87-93352-80-3.pdf>
- Lee, Y., Cho, J., Sohn, J., & Kim, C. (2023). Health Effects of Microplastic Exposures: Current Issues and Perspectives in South Korea. *Yonsei Medical Journal*, 64(5), 301. <https://doi.org/10.3349/ymj.2023.0048>
- Made in China. (2024). *High Working Pressure Airless Spraying Unit Spray Coater*.
<https://new-xd.en.made-in-china.com/product/ryBEXMtZuhS/China-High-Working-Pressure-Airless-Spraying-Unit-Spray-Coater.html>
- MarineTraffic. (2024).
<https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:3675596/mmsi:304642000/imo:9246554/vessel:ALLEGRO#overview>
- Meyers, N., Kopke, K., Buhhalko, N., Mattsson, K., Janssen, C. R., Everaert, G., & De Witte, B. (2024). Value for money: A cost-effectiveness analysis of microplastic analytics in seawater. *Microplastics and Nanoplastics*, 4(1), 4.
<https://doi.org/10.1186/s43591-024-00081-x>
- Munno, K., Lusher, A. L., Minor, E. C., Gray, A., Ho, K., Hankett, J., T Lee, C.-F., Primpke, S., McNeish, R. E., Wong, C. S., & Rochman, C. (2023). Patterns of microparticles in blank samples: A study to inform best practices for

- microplastic analysis. *Chemosphere*, 333, 138883.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138883>
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2020). Plastic Debris in the Marine Environment: History and Future Challenges. *Global Challenges*, 4(6), 1900081.
<https://doi.org/10.1002/gch2.201900081>
- Ngo, P. L., Pramanik, B. K., Shah, K., & Roychand, R. (2019). Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants. *Environmental Pollution*, 255, 113326.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113326>
- Nguyen Trung, T. (2023). Influence of Tinuvin 292 on Chlorinated Rubber Varnish/ Coating Properties under UV Radiation. *Suan Sunandha Science and Technology Journal*, 10(2), 132-140. <https://doi.org/10.53848/ssstj.v10i2.278>
- Paruta, P., pucino, M., & Boucher, J. (2022). *Plastic Paints the Environment*. EA – Environmental Action, Lausanne, Switzerland. <https://www.e-a.earth/wp-content/uploads/2023/07/plastic-paint-the-environment.pdf>
- PLASTICS EUROPE. (2024). *Microplastics*.
<https://plasticseurope.org/sustainability/plastics-health/microplastics/>
- Razeghi, N., Hamidian, A. H., Wu, C., Zhang, Y., & Yang, M. (2021). Microplastic sampling techniques in freshwaters and sediments: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(6), 4225-4252. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01227-6>
- Reichelt-Brushett, A. (Red.). (2023). *Marine pollution—Monitoring, management and mitigation*. Springer.
- Rijkswaterstaat. (1987). *Bemonsteringsinstructie kwaliteitsonderzoek in de rijkswateren*.
- RIVM. (2023). *Wat is plastic?* <https://www.rivm.nl/plastics/wat-is-plastic>
- Rodrigues, M. O., Gonçalves, A. M. M., Gonçalves, F. J. M., & Abrantes, N. (2020). Improving cost-efficiency for MPs density separation by zinc chloride reuse. *MethodsX*, 7, 100785. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100785>
- Romeu, M. J., & Mergulhão, F. (2023). Development of Antifouling Strategies for Marine Applications. *Microorganisms*, 11(6), 1568.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11061568>
- Sadeghi, K., Derki, A., & Shlash, A. (2018). *DRY DOCKS: OVERVIEW OF DESIGN AND CONSTRUCTION*. <https://www.researchgate.net/profile/Alhamza->

- Derki/publication/323589810_DRY_DOCKS_OVERVIEW_OF_DESIGN_AND_CONSTRUCTION/links/5b8a5843299bf1d5a735de40/DRY-DOCKS-OVERVIEW-OF-DESIGN-AND-CONSTRUCTION.pdf
- Sartain, M., Wessel, C., & Sparks, E. (2021). *MICROPLASTICS Sampling and Processing Guidebook*. Mississippi State University.
<https://extension.msstate.edu/publications/microplastics-sampling-and-processing-guidebook>
- Schrank, I., Möller, J. N., Imhof, H. K., Hauenstein, O., Zielke, F., Agarwal, S., Löder, M. G. J., Greiner, A., & Laforsch, C. (2022). Microplastic sample purification methods—Assessing detrimental effects of purification procedures on specific plastic types. *Science of The Total Environment*, 833, 154824.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154824>
- Shabaka, S. H., Marey, R. S., Ghobashy, M., Abushady, A. M., Ismail, G. A., & Khairy, H. M. (2020). Thermal analysis and enhanced visual technique for assessment of microplastics in fish from an Urban Harbor, Mediterranean Coast of Egypt. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111465.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111465>
- Shruti, V. C., & Kutralam-Muniasamy, G. (2023). Blanks and bias in microplastic research: Implications for future quality assurance. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 38, e00203. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2023.e00203>
- Silva, A. L. P., Silva, S. A. M., Duarte, A., Barceló, D., & Rocha-Santos, T. (2022). Analytical methodologies used for screening micro(nano)plastics in (eco)toxicity tests. *Green Analytical Chemistry*, 3, 100037.
<https://doi.org/10.1016/j.greeac.2022.100037>
- Stock, F., Kochleus, C., Bansch-Baltruschat, B., Brennholt, N., & Reifferscheid, G. (2019). Sampling techniques and preparation methods for microplastic analyses in the aquatic environment – A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 113, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.01.014>
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., Van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B.-J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21-37.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>
- Sundt, P., Schulze, E., & Syversen, F. (2014). *Sources of microplastics-pollution to the marine environmnet* (M-321|2015; p. 86). Norwegian Environment Agency

Miljødirektoaret.

<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M321/M321.pdf>

- Swain, G., & Lund, G. (2016). Dry-Dock Inspection Methods for Improved Fouling Control Coating Performance. *Journal of Ship Production and Design*, 32(3), 186-193. <https://doi.org/10.5957/JSPD.32.3.150038>
- Tagg, A. S. (2023). Microplastic paint particle production for spiking experiments; silicone rubber as application material provide high yield with low effort. *Microplastics and Nanoplastics*, 3(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00061-7>
- Tagg, A. S., Sapp, M., Harrison, J. P., Sinclair, C. J., Bradley, E., Ju-Nam, Y., & Ojeda, J. J. (2020). Microplastic Monitoring at Different Stages in a Wastewater Treatment Plant Using Reflectance Micro-FTIR Imaging. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 145. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00145>
- Talvitie, J., Heinonen, M., Pääkkönen, J.-P., Vahtera, E., Mikola, A., Setälä, O., & Vahala, R. (2015). Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science and Technology*, 72(9), 1495-1504. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.360>
- Tamburri, M. N., Soon, Z. Y., Scianni, C., Øpstad, C. L., Oxtoby, N. S., Doran, S., & Drake, L. A. (2022). Understanding the potential release of microplastics from coatings used on commercial ships. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1074654. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1074654>
- Tamminga, M., Hengstmann, E., Deuke, A.-K., & Fischer, E. K. (2022). Microplastic concentrations, characteristics, and fluxes in water bodies of the Tollense catchment, Germany, with regard to different sampling systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(8), 11345-11358. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16106-4>
- Thacharodi, A., Meenatchi, R., Hassan, S., Hussain, N., Bhat, M. A., Arockiaraj, J., Ngo, H. H., Le, Q. H., & Pugazhendhi, A. (2024). Microplastics in the environment: A critical overview on its fate, toxicity, implications, management, and bioremediation strategies. *Journal of Environmental Management*, 349, 119433. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119433>
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the

- Plastic? *Science*, 304(5672), 838-838.
<https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Tian, L., Yin, Y., Bing, W., & Jin, E. (2021). Antifouling Technology Trends in Marine Environmental Protection. *Journal of Bionic Engineering*, 18(2), 239-263.
<https://doi.org/10.1007/s42235-021-0017-z>
- Turner, A. (2021). Paint particles in the marine environment: An overlooked component of microplastics. *Water Research X*, 12, 100110.
<https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>
- Tyvaert, F. (2019). *Microplastics in zee: De scheepvaart als bron*. Antwerp Maritime Academy.
- Vercauteren, M., Janssen, C., Asselman, J., & Zhang, T. (2023, oktober 1). *Analysis on the link between microplastics, the environment and public health*.
https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/policyinformingbrief-microplastic_and_human_health.pdf
- Vercauteren, M., Semmouri, I., Van Acker, E., Pequeur, E., Van Esch, L., Uljee, I., Asselman, J., & Janssen, C. (2021). *Onderzoek naar verspreiding, effecten en risico's van microplastics in het Vlaamse oppervlaktewater* (p. 106).
file:///C:/Users/Gebruiker/Downloads/Deelrapport-1-Methoden-FinaalUGent_TW.pdf
- Verschoor, anja. (2015). *Towards a definition of microplastics* (2015-0116). RIVM.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0116.pdf>
- Verschoor, anja, De Poorter, L., Dröge, R., Kuenen, J., & De valk, E. (2016). *Emission of microplastics and potential mitigation measures*. National Institute for Public Health and the Environment.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0026.pdf>
- Vlaamse Regering. (2022). *Besluit van de Vlaamse Regering tot wijziging van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne, wat betreft kunststof granulaat, brandstoffen en brandbare vloeistoffen, de opslag van gevaarlijke producten en particuliere stookolietanks*.
<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fomgeving.vlaanderen.be%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2022-08%2FVerslag%2520TBGS.docx&wdOrigin=BROWSELINK>

- Weber, F., & Esmaeili, N. (2023). Marine biofouling and the role of biocidal coatings in balancing environmental impacts. *Biofouling*, 39(6), 661-681.
<https://doi.org/10.1080/08927014.2023.2246906>
- Weimer, R. B., Wright, D. M., & Hodgins, T. (2020). Paints and Polymers. In V. J. Desiderio, C. E. Taylor, & N. N. Daéid (Red.), *Handbook of Trace Evidence Analysis* (1ste dr., pp. 157-218). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119373438.ch3>
- Yinuo. (2023, augustus 25). Fast Facts—What is Plastic Pollution? *United Nations Sustainable Development*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2023/08/explainer-what-is-plastic-pollution/>

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]