



Mogelijke ecologische gevolgen containerramp MSC Zoe voor Waddenzee en Noordzee

Een quickscan

Auteur(s): Baptist, M.J., Brasseur, S.M.J.M., Foekema, E.M., van Franeker, J.A., Kühn, S. & Leopold, M.F.

Wageningen University &
Research rapport C029/19

Mogelijke ecologische gevolgen containerramp MSC Zoe voor Waddenzee en Noordzee

Een quickscan

Auteur(s): Baptist, M.J., Brasseur, S.M.J.M., Foekema, E.M., van Franeker, J.A., Kühn, S. & Leopold, M.F.

Wageningen Marine Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Marine Research in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend Onderzoek (BO-43-021.03-001).

Wageningen Marine Research
Den Helder, maart 2019

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C029/19

Keywords: MSC Zoe, zwerfvuil, plastic vervuiling, toxische stoffen, Waddenzee, Noordzee.

Opdrachtgever: Ministerie van LNV
T.a.v.: Bernard Baerends
Bezuidenhoutseweg 73
2594 AC Den Haag

BO-43-021.03-001

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/473406>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigt door Dr. M.C.Th.
Scholten, Algemeen directeur

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V28 (2018)

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	5
2 De containerramp in wereldwijd perspectief	6
3 Mogelijke gevolgen voor het ecosysteem van Waddenzee en Noordzee	7
3.1 Effecten van toxische stoffen	7
3.2 Mogelijke effecten voor het mariene milieu	8
3.2.1 Macroplastics	8
3.2.2 Microplastics en nanoplastics	9
3.3 Effecten van zwerfvuil en plastics op kwelders	9
3.4 Effecten van zwerfvuil en plastics op bodemdieren van de Waddenzee en Noordzee	10
3.5 Effecten van plastics op vissen van de Waddenzee en Noordzee	11
3.6 Effecten van plastics op vogels en zeezoogdieren van de Waddenzee en Noordzee	12
3.7 Epiloog	13
4 Kwaliteitsborging	14
Literatuur	15
Verantwoording	17

Samenvatting

In de nacht van 1 op 2 januari 2019 tijdens een noordwesterstorm verloor het containerschip MSC Zoe naar schatting 342 containers in de scheepvaartroute ten noorden van de Waddeneilanden.

Het Ministerie van LNV heeft Wageningen Marine Research gevraagd om een quickscan uit te voeren met als resultaat een korte notitie waarin wordt ingegaan op de mogelijke ecologische gevolgen van de containerramp MSC Zoe voor het ecosysteem van de Waddenzee en Noordzee. De belangrijkste bevindingen zijn:

- Detailinformatie over de verloren lading ontbreekt twaalf weken na het incident nog steeds.
- De containerramp met de MSC Zoe bracht naar schatting 2.736 ton afval in de Noordzee. Hoewel dit op wereldschaal gering is, is het een serieus incident op de Noordzee.
- De toxische effecten van de verloren container met in totaal 280 zakken Perkadox zijn potentieel zeer groot. De hoeveelheid verloren dibenzoylperoxide (3000 kg), een hoofbestanddeel van Perkadox, kan potentieel een volume water van 3 km³ (ter vergelijking: 1/3 van het volume van het IJsselmeer) verontreinigen tot een concentratie waarbij in 10% van alle aquatische ongewervelden effecten worden gevonden. Ook is de acute toxiciteit voor vis erg hoog.
- Aangezien nagenoeg alle verloren voorwerpen veel grotere afmetingen hebben dan 5 mm is er geen groot acuut gevaar van microplastics, laat staan nanoplastics. De afbraak van plastics op de zeebodem is langzaam (orde jaren tot tientallen jaren).
- We verwachten geen waarneembare veranderingen in vegetatiegroei, sedimentatie of drainage van kwelders op een significante schaal.
- Effecten op bodemdieren kunnen optreden door bedekking, door erosie of sedimentatie rondom voorwerpen op de zeebodem en – op langere termijn - door begroeiing van deze voorwerpen met hard substraat fauna.
- Een mogelijk ecologisch effect op vissen is dat voorwerpen op de zeebodem een schuilplaats bieden (kunstmatige riffen).
- Vogels en zeezoogdieren kunnen subletale, en incidenteel letale, effecten ondervinden van grotere onderdelen uit de lading van de MSC Zoe door verstrikking en inname.
- Ook het opruimen van de containers en het afval daaruit kan effecten hebben op het ecosysteem van de Waddenzee en Noordzee.

1 Inleiding

In de nacht van 1 op 2 januari 2019 tijdens een noordwesterstorm verloor het containerschip MSC Zoe naar schatting 342 containers in de scheepvaartroute ten noorden van de Waddeneilanden. Het schip, met een laadcapaciteit van 19.000 containers, was onderweg van het Portugese Sines naar Bremerhaven met zo'n 8.000 containers aan boord. Achttien containers zijn tot dusverre aangespoeld. Het merendeel van de verloren containers is op de zeebodem terecht gekomen in de vaargeul ten noorden van Terschelling.

In de dagen na de ramp spoelde er lading uit de containers aan op de Noordzeekusten van de Waddeneilanden (voornamelijk Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog) en kwamen met name lichtere (drijvende) materialen ook terecht op de vastelandskust van de Waddenzee, voornamelijk aan de Groningse kust, maar ook werden voorwerpen bij de Afsluitdijk gevonden. Diverse opruimacties vonden plaats om de stranden, duinen en kwelders schoon te maken. Verreweg het grootste deel van de lading is op de bodem van de Noordzee terecht gekomen en er wordt geprobeerd dit zo snel mogelijk te bergen. Acht weken na de ramp is naar schatting 1.100 ton afval van land en zee afgevoerd. De Rijksuniversiteit Groningen startte een citizen science project om de hoeveelheid plastic korreltjes in het vloedmerk van de Waddenzee en Noordzeestranden te inventariseren (www.waddenplastic.nl).

Informatie over de verloren lading is erg onvolledig: er zijn op het moment van schrijven van 286 containers summiere omschrijvingen beschikbaar, die bestaan uit een beschrijving van de inhoud in enkel algemene termen. De inhoud van de containers bestond hoofdzakelijk uit zaken als meubilair, elektronica, auto-, motor- en fietsonderdelen, textiel, schoenen, metalen, keukeninventarisatie, glas, auto's, speelgoed, airconditioners, grasmaaiers, en autobanden. Van ongeveer 56 containers is er geen enkele informatie beschikbaar. Van wat aangespoeld is bestond het grootste deel uit grote onderdelen zoals diepvriezers, krukjes, kuipstoeltjes, speelgoed, fleecedekens, autobanden, auto-onderdelen, compressors, flatscreen-tv's, schoenen, zeppompjes, ledlampen, matrassen, stofzuigslangen en tuinmeubilair.

Het Ministerie van LNV heeft Wageningen Marine Research gevraagd om een quickscan uit te voeren met als resultaat een korte notitie waarin wordt ingegaan op de mogelijke ecologische gevolgen van de containerramp MSC Zoe voor het ecosysteem van de Waddenzee en Noordzee.

2 De containerramp in wereldwijd perspectief

Het is uniek dat één schip een lading verliest van 342 zeecontainers. Naar schatting vallen er jaarlijks wereldwijd tussen de 550 en 1700 containers van schepen, op een totaal van ongeveer 130 miljoen containers die jaarlijks worden vervoerd. Deze ongevallen leiden tot zwerfvuil, waaronder plastics, in de zeeën en oceanen.

De ijzeren containers zelf wegen rond de twee ton per stuk. Voor de MS Zoe heeft dit dus geleid tot zo'n 700 ton aan metaal afval in zee. Een standaard 20ft zeecontainer heeft een maximaal beladingsgewicht van 28 ton, maar de gemiddelde belading van zeecontainers van de MSC Zoe bedroeg zo'n 8 ton per stuk. Dit betekent een hoeveelheid van ongeveer $8 \times 342 = 2.736$ ton afval in de Noordzee. De totale wereldwijde plastic vervuiling van land naar zee (Jambeck et al. 2015) wordt geschat op 4.800.000 – 12.700.000 ton per jaar. Het aandeel van de MS Zoe (als dit afval volledig uit plastic zou bestaan) is hiermee 0,02-0,06% van de wereldwijde input van plastic in zee. Zoals Jan Andries van Franeker opmerkte in Trouw: "Het is een serieus incident op de Noordzee, maar op de grote hoeveelheid plastic die al in zee ligt, maken die containers amper verschil" (<https://www.trouw.nl/groen/erg-die-containerramp-maar-de-plastic-soep-is-veel-erger-~af94e61b/>). Er werden echter niet alleen plastics vervoerd in de containers, maar een veel bredere doorsnede van consumentengoederen, zoals in de inleiding is beschreven.

Plastic vervuiling is zichtbare vervuiling. Foto's van vervuilde stranden en drijvend plastic in zee gaan de hele wereld over. Plastic vervuiling van stranden kan gevolgen hebben voor toerisme. Daarnaast is bekend dat juist charismatische megafauna, zoals zeevogels, zeeschildpadden en zeezoogdieren, kwetsbaar is voor verstrikking en in sommige gevallen voor inname van plastics. Als gevolg hiervan is er een grote publieke aandacht voor plastic vervuiling ontstaan, resulterend in regelgeving en respons van industrieën. Volgens Stafford & Jones (in press) leidt dit echter de aandacht af van wat zij beschouwen als de werkelijk grote problemen voor mariene ecosystemen, te weten klimaatverandering en overbevissing.

3 Mogelijke gevolgen voor het ecosysteem van Waddenzee en Noordzee

3.1 Effecten van toxische stoffen

Een deel van de containers bevatte geregistreerde giftige stoffen. Eén container bevatte 467 verpakkingen met lithium-ion accu's, in totaal 1.400 kg. Bij het uiteenvallen van deze batterijen kunnen toxische stoffen vrijkomen zoals lithiumkbaltoxide, grafiet, ethyleencarbonaat, diethyleencarbonaat en lithiumhexafluorofosfaat. Elke accu heeft een lekdicht metalen omhulsel. Er is geen gevaar voor blootstelling aan de inhoud van deze accu's, behalve bij verlies van de lekdichtheid. Dit kan ontstaan door acute blootstelling aan te hoge temperaturen of overmatige elektrische of mechanische druk. Ook een langdurige blootstelling aan zeewater kan op den duur leiden tot lekverlies van toxische stoffen.

Eén container is overboord geslagen met 160 plastic zakken van 25 kg Perkadox CH-50X en 120 plastic zakken van 25 kg Perkadox CH-34RP. Perkadox is een geregistreerde merknaam van Akzo Nobel Chemicals B.V. Perkadox CH-50X bestaat uit een mengsel van 50% dibenzoylperoxide en 50% dicyclohexylftalaat. Perkadox CH-34RP bestaat uit een mengsel van 34% dibenzoylperoxide en 66% dicyclohexylftalaat met een inerte vulstof. Beide stoffen zijn een wit poeder met goede vrij-vloeiende eigenschappen. De poeders zijn 'onoplosbaar' in water (maximaal 0,35 mg/l kan worden opgelost in water). De bulkdichtheid van CH-50X is 620-650 kg/m³ en van CH-34RP 780 kg/m³. Deze dichtheden zijn lager dan (zee)water dus een zak Perkadox zal drijven, zolang de plastic zak gesloten is. Op Schiermonnikoog is een dergelijke volle zak aangespoeld. De dichtheid van de stof zelf (een losse korrel) is 1.230 kg/m³, hiermee zwaarder dan water, dus wanneer een zak kapot is zullen de korrels Perkadox zinken. Op Borkum zijn enkele lege zakken aangespoeld; er is dus met zekerheid Perkadox in het zeemilieu terecht gekomen. Zakken kunnen opengaan door scheuring na fysiek contact met scherpe materialen of door verwerking.

In de Safety Data Sheet van Perkadox CH-50, revisiedatum 28-02-2017 en gevonden op http://pipeliningsupply.com/wp-content/uploads/2018/10/PERK_MSDS.pdf, staat over het bestanddeel dicyclohexylftalaat dat het niet toxisch is op de oplosbaarheids grens. Dicyclohexylftalaat is "Readily biodegradable", wat wil zeggen dat 60-100% van de stof afbreekt in 28 dagen. Over dibenzoylperoxide staat vermeld: "Very toxic to aquatic life with long lasting effects". Er zijn toxicologische testen gedaan met o.a. vis (de guppy *Poecilia reticulata*), watervlooien (*Daphnia magna*) en algen (soort onbekend). De toxiciteit voor guppy is bepaald door een letale concentratie af te leiden (de LC50, de concentratie waarbij 50% van de dieren sterft) van 0,06 mg/l na een blootstelling van 96 uur (4 dagen). Voor watervlooien is een EC50 bepaald (de concentratie waarbij bij 50% van de watervlooien immobilisatie werd vastgesteld) van 0,11 mg/l na een blootstelling van 48 uur. Voor algen is een EC50 bepaald (de concentratie waarbij bij 50% van de algen een groeiafname werd vastgesteld) van 0,06 mg/l na een blootstelling van 48 h. Een chronische toxiciteit voor *Daphnia* en andere soorten aquatisch dierlijk plankton werd bepaald op een EC10 van 0,001 mg/l na een blootstellingsduur van 21 dagen. Dibenzoylperoxide is niet persistent en wordt door hydrolyse afgebroken in water tot benzoëzuur. Dibenzoylperoxide is gecategoriseerd als "Inherently biodegradable" wat wil zeggen dat 20-60% van de stof biologisch afbreekt in 28 dagen.

Dibenzoylperoxide is dus giftig voor aquatische ongewervelden bij concentraties van 0,001 mg/l oftewel 1 mg/m³ en is acuut giftig voor vissen bij een concentratie van 6 mg/m³. Dit betekent dat in de omgeving van lekkende zakken effecten bij ongewervelden en vissen kunnen optreden, afhankelijk van de mate waarin de stof in het zeewater wordt opgelost, de snelheid van hydrolyse en afbraak, en de mate van verdunning door stroming van het zeewater. In potentie kan de hoeveelheid verloren

dibenzoylperoxide (3000 kg) een volume water van 3 km³ (ter vergelijking: 1/3 van het volume van het IJsselmeer) verontreinigen tot een concentratie van 1 mg/m³, waarbij in genoemde toxiciteitstesten effecten werden gevonden. De omstandigheden in deze met zoetwater organismen uitgevoerde testen wijken echter af van de veldsituatie op zee. Een goede inschatting van de (ruimtelijke) schaal waarop effecten van deze stof kunnen optreden vereist dan ook nadere studie. Het is daarom aan te bevelen om mesocosm testen te verrichten met dibenzoylperoxide om de toxiciteit voor organismen uit de (Noord)zee vast te stellen en de biologische afbraak in Noordzeewater te bepalen.

Andere verloren producten bevatten ook mogelijk kwalijke stoffen, zoals koelvloeistoffen in airconditioners of koelkasten, olieproducten in auto's e.d. Omdat dergelijke details over de lading nog steeds ontbreken is de omvang hiervan op moment van schrijven, twaalf weken na de ramp, onbekend.

3.2 Mogelijke effecten voor het mariene milieu

Er is een grote hoeveelheid zwerfvuil in zee terechtgekomen waaronder veel plastics. Afval op de stranden van de eilanden is grotendeels opgeruimd, maar er zijn ook plastics in de Waddenzee terecht gekomen op moeilijker bereikbare en begroeide delen zoals duinen en kwelders. Waar en in welke hoeveelheden plastics terecht zijn gekomen in de diverse milieus van de Waddenzee en de Noordzee is nog onbekend.

Bij het beschrijven van de gevolgen van plastics op ecosystemen wordt onderscheid gemaakt tussen macroplastics (> 5 mm), microplastics (< 5 mm) en nanoplastics (< 100 nm).

3.2.1 Macroplastics

Macroplastics kunnen leiden tot (Browne et al. 2015):

1. verstrikking
2. verandering van habitats
3. inname/opeten en
4. verspreiding door drijvende objecten

Verstrikking is met name beschreven voor visnetten, maar vindt ook plaats door bijvoorbeeld verpakkingen van blikjes, rubber ringen, touw, lint etc. Verstrikking kan leiden tot verwonding, vermindering van voedselinname en in sommige gevallen tot sterfte. Effecten op populatieniveau zijn lastig te berekenen omdat voor de meeste zeedieren cijfers ontbreken van de populatieomvang en (natuurlijke) mortaliteit.

Verandering van habitats vindt plaats doordat macroplastics (of ander materiaal) zich ophoopt in de omgeving en daarbij invloed uitoefent op planten en dieren. Er zijn in de internationale literatuur diverse studies beschreven naar habitatveranderingen op stranden en gevolgen voor onder andere algenmatten, krabben, bodemdieren en zeeschildpadden. De effecten zijn divers en niet eenduidig.

Inname van plastics is beschreven voor veel diersoorten, met name voor vogels en zeezoogdieren (Kühn et al. 2015). Het kan leiden tot zweren, interne verwondingen en blokkades. Vogels met veel plastics in de maag groeien langzamer en sterven eerder. Internationale literatuur geeft aan dat het in veel gevallen lastig is om te bewijzen dat inname van plastic de oorzaak is voor sterfte. Ook de gevolgen op populatieniveau kunnen moeilijk worden berekend, bijvoorbeeld vanwege de steekproefgrootte van gevonden slachtoffers.

Verspreiding door drijvende objecten kan potentieel zorgen voor de introductie van exoten omdat veel kunststof objecten betere drijvende eigenschappen hebben dan natuurlijke materialen. Er zijn in de internationale literatuur nog geen ernstige gevolgen beschreven en het is tot nu toe onduidelijk wat de bijdrage van drijvende zwerfvuil is ten opzichte van natuurlijke materialen (hout, kokosnoten zaden etc.) of de scheepvaart.

3.2.2 Microplastics en nanoplastics

Hoewel het overgrote deel van de containerlading (veel) groter is, kan door verwerking een deel van het macroplastic als microplastics en nanoplastics eindigen. Deze kunnen worden ingenomen / opgegeten door mariene organismen (Kühn et al. 2015). In de internationale literatuur is beschreven dat het innemen of opeten van microplastics en nanoplastics door organismen kan leiden tot verminderde groei, gedragsveranderingen, verminderde reproductie, verminderde voedselinname, verminderde vitaliteit met sterfte tot gevolg, en doorgifte van de kleine deeltjes naar een hoger niveau in de voedselketen (Chae & An, 2017). Veel van deze studies zijn verricht in laboratoria, bij hoge concentraties plastics, en dientengevolge is er nog veel onduidelijk over gevolgen van micro- en nanoplastics in de natuurlijke leefomgeving. Volgens een rapportage van wetenschappelijke experts in opdracht van het Europese academische adviesorgaan SAPEA, onder voorzitterschap van WUR hoogleraar Bart Koelmans, laat het best beschikbare bewijs zien dat microplastics en nanoplastics (< 100 nm) op dit moment geen aantoonbaar wijdverbreid risico vormen voor de mens of het milieu, met uitzondering van lokale hoge dichtheden (SAPEA 2019). De studie maakt overigens ook duidelijk dat nog veel kennis ontbreekt en dat risico's, zeker naar de toekomst, onvoorspelbaar zijn.

Micro- en nanoplastics kunnen in de menselijke voedselketen terechtkomen door het eten van schelpdieren en kreeftachtigen. Het is niet duidelijk of dit tot humane risico's leidt (Barbosa et al. 2018). Absorptie van microplastics in het maag-darmstelsel is laag; microplastics worden via de ontlasting weer uitgescheiden. Nanoplastics kunnen door hun kleine afmetingen wel worden opgenomen en zijn potentieel schadelijk. Echter, om negatieve effecten te hebben, moeten onwaarschijnlijke hoge concentraties worden ingenomen (Waring et al. 2018). Onderzoek door WUR naar consumptiemosselen concludeerde dat er geen aanleiding is te veronderstellen dat plastic deeltjes in het formaat dat een mossel direct uit water kan filteren (tussen de 5 en 40 µm) een gezondheidsrisico opleveren voor de consument (Foekema et al. 2017).

Slecht afbreekbare verontreinigende stoffen zoals PCB's lossen nauwelijks in water op. In waterig milieu hechten zij zich aan al dan niet levend organisch materiaal, waarbij ophoping in vooral sedimenten, zwevende deeltjes en vetweefsel (van dieren) plaatsvindt. Hierdoor, en omdat ze slecht worden afgebroken, hopen deze stoffen op in de voedselketen. Ook hechten deze stoffen makkelijk aan plastic deeltjes. Gehalten aan verontreinigende stoffen in op stranden gevonden plastics verschillen per regio (Ogata et al. 2009). Als dieren dit verontreinigde plastic opeten, krijgen zij hiermee ook deze stoffen binnen. Of de stoffen van het plastic loskomen, of weer met het plastic worden uitgepoept hangt onder andere af van de verblijftijd in de darm en de concentratie van de stoffen in het plastic ten opzichte van de concentratie in het lichaam. Ook het soort materiaal waaraan ze gehecht zijn, is van invloed; hoe inerte het materiaal, hoe slechter de stoffen ervan loslaten (McLeod et al. 2004). Vervuilende stoffen uit echte prooien die verteerd worden, komen veel makkelijker in de bloedbaan terecht dan de stoffen die door diffusie uit een stukje plastic moeten vrijkomen. Recent onderzoek laat zien dat de hoeveelheid vervuilende stoffen die dieren, onder veldrelevante omstandigheden via plastics, binnenkrijgen niet of nauwelijks bijdraagt aan de hoeveelheid van dezelfde stoffen die zij via hun normale voedsel opnemen (Koelmans et al. 2016; Ziccardi et al. 2016; Besseling et al. 2017). Bij de productie aan plastics worden ook bewust chemische stoffen toegevoegd, zoals weekmakers en vlamvertragers. Plastic vormt hiermee een bron voor dit soort stoffen naar het milieu. Omdat deze stoffen deels tijdens de afvalfase uit het plastic weglekken, is er mogelijk vooral risico voor blootstelling van dieren wanneer zij 'vers' plastic inslikken.

3.3 Effecten van zwerfvuil en plastics op kwelders

Een deel van de plastics afkomstig van de MSC Zoe is in de Friese en Groninger kwelders van de vastelandskust terecht gekomen. Het gaat om grotere stukken voornamelijk licht (drijvend) plastic en nurdles/pellets (5 mm doorsnede HDPE hardplastic schijfjes). De grotere stukken zijn soms in de rijshouten dammen ingevangen en vormen met name een visuele verstoring. De nurdles zijn opgehoopt in de vloedlijnen en aangezien er een aantal maal een hoge waterstand is geweest door

stormen, liggen de hoogste concentraties tegen de Waddendijk aan. Hier liggen de nurdles te midden van dikke pakketten (enkele centimeters tot decimeters) van plantenresten. Nurdles worden over de hele wereld gevonden. Ook op de dijk langs de Westerschelde bij Rilland werden recent (februari 2019) duizenden plastic nurdles per meter aangetroffen afkomstig van de plastic producenten en verladers in Antwerpen (bron: Michiel Princen, www.plasticsoupfoundation.org), hoewel de haven sinds 2017 een maatregelenprogramma heeft (<https://www.portofantwerp.com/nl/news/antwerpse-haven-gaat-als-eerste-haven-europa-voor-%E2%80%98zero-pellet-loss%E2%80%99>). Een onderzoek naar de effecten van nurdles op het milieu in de Westerschelde (met langjarige chronische vervuiling) in vergelijking met de Waddenzee (acute vervuiling) is daarom aan te bevelen.

Verwacht mag worden dat er verdere verspreiding van zwerfvuil en plastics vanuit gezonken containers zal optreden naar kustgebieden elders. Plastics of ander zwerfvuil kan leiden tot verandering van habitats van kwelders, doordat het materiaal ophoopt in de omgeving en daarbij invloed uitoefent op planten en dieren. Het ophopen van plastic kan mogelijk op lokale schaal effecten hebben op bijvoorbeeld bodemdieren of plantengroei in kwelders, maar meer realistisch betekent het dat er dan wel een erg dikke laag plastic korreltjes aanwezig moet zijn, of dat er een afdekking plaatsvindt met bijvoorbeeld fleecedekens of plastic folie. In de Waddenzee bestaat anekdotisch bewijs dat verschillende vogelsoorten, zoals lepelaars, plastics gebruiken als nestmateriaal. Als gevolg hiervan kunnen de met plastic beklede nesten waterdicht worden en vol water komen te staan bij regen. Alleen wanneer er op grote schaal sprake is van een dikke laag bedekking van plastic korrels of ander materiaal zou er een invloed kunnen zijn op sedimentatie, bodemdieren en afstroming van water. Grotere voorwerpen kunnen potentieel kwelderkreken gaan verstoppen, of leiden tot hydrologische veranderingen in het kwelderoppervlak, zoals het ontstaan van poelen. Dit is tot dusverre niet waargenomen, en zal naar alle waarschijnlijkheid mocht dit gebeuren snel door beheerders worden opgeruimd.

In theorie kunnen grote grazers op de kwelder (schapen, koeien of paarden die worden ingezet in kwelderbeheer) (plastic) voorwerpen die op de kwelders terecht zijn gekomen opeten. Direct opruimen van zwerfvuil is derhalve zeer belangrijk en beheerders letten hierop.

De gevolgen van de containerramp voor het functioneren van de kwelder als geheel zijn derhalve klein; we verwachten geen waarneembare veranderingen in vegetatiegroei, sedimentatie of drainage op een significante schaal.

3.4 Effecten van zwerfvuil en plastics op bodemdieren van de Waddenzee en Noordzee

Effecten van plastics en ander materiaal op de zeebodem kunnen optreden door bedekking van bodemdieren, door erosie of sedimentatie rondom voorwerpen op de zeebodem en – op langere termijn – door begroeiing van deze voorwerpen met hard substraat fauna. Daarnaast kunnen kleine plastic deeltjes (microplastics en nanoplastics) worden opgegeten door bodemdieren, grotere stukken niet. Op schaal van de Noordzee zijn de effecten lokaal.

De enige bekende microplastics in de lading betreffen de HDPE nurdles/pellets (5 mm) en een tot nu toe onbekend deel van de overboord gevallen lading die bestond uit microbeads van 0,5 mm. De nurdles zijn in significante hoeveelheden aangespoeld op de Waddeneilanden en op de vastelandskwelders. Door afbraak van grotere voorwerpen kunnen microplastics kleiner dan 5 mm ontstaan die opgegeten kunnen worden door mariene organismen zoals bodemdieren (Kühn et al. 2015). Aangezien nagenoeg alle verloren voorwerpen veel grotere afmetingen hebben is er, afgezien van de nurdles in de vloedmerken, geen direct effect van microplastics te verwachten. De afbraaksnelheid van macroplastics tot microplastics hangt ontzettend af van het oorspronkelijke materiaal en waar het terecht is gekomen in zee. Diep in het water gaat de afbraak heel langzaam (orde jaren tot tientallen jaren), terwijl onder invloed van UV en mechanisch schuren op stranden het plastic relatief snel in kleinere stukken breekt (orde maanden) (Andrady 2015; 2017).

Onderzoek aan bodemdieren zoals wadpieren, mosselen en garnalen, die verzameld zijn uit de Noordzee, heeft aangetoond dat al deze soorten, maar voor garnalen niet alle onderzochte individuen, microplastics in zich hebben (Van Cauwenberghe et al. 2015; Tabel 1 van Devriese et al. 2015). Meestal werden microvezels aangetroffen in deze dieren. Gebleken is echter dat onderzoeksmateriaal tijdens de verwerking en analyse van het materiaal snel vervuild kan raken, vooral door microvezels uit kleding dat rond zweeft in kantoren en laboratoria (Hermsen et al. 2018). Dit heeft geleid tot extra aandacht hiervoor bij de beschrijving van de resultaten van de meer recente onderzoeken. Volgens de onderzoekers in Devriese et al. (2015) is er schoon genoeg gewerkt om vervuiling van het onderzoeksmateriaal te voorkomen. In dit onderzoek vond men in 63% van de Noordzeegarnalen microplastics. De onderzoekers in Van Cauwenberghe et al. (2015) konden niet schoon genoeg werken en lieten daarom gevonden microvezels in hun onderzoeksmateriaal buiten beschouwing. Zij troffen in alle onderzochte mosselen en wadpieren andersoortige microplastics aan, zowel in het weefsel als in feces, met een gemiddelde concentratie van 0.2 ± 0.3 deeltjes g^{-1} in mosselen en 1.2 ± 2.8 deeltjes g^{-1} in wadpieren. Gevolgen voor de conditie van garnalen of de energiehuishouding van mosselen en wadpieren werden niet gevonden.

Van Cauwenberghe et al. (2015) schatten dat een mens op jaarbasis maximaal 10.000 microvezels binnenkrijgt door consumptie van mosselen. Devriese et al. (2015) nemen aan dat 90% van de aanwezige microplastics in garnalen wordt verwijderd bij verwijdering van het maag-darmkanaal voor consumptie, en berekenden dat een gemiddelde garnalenconsumptie van 0,5 kg per persoon per jaar leidt tot inname van 15 - 175 stuks microplastics per persoon per jaar. Onderzoek door WUR naar consumptiemosselen liet zien dat er geen aanleiding is om te veronderstellen dat eventueel aanwezige plastic deeltjes in mosselen (tussen de 5 en 40 μm) een gezondheidsrisico opleveren voor de consument (Foekema et al. 2017). Huisstof lijkt verreweg de grootste bron van microvezels voor humane blootstelling (RIVM 2017).

Plastic deeltjes in het mariene milieu kunnen vervuiling uit het water (zoals PCB's) aan zich binden, en bevatten zelf veel additieven die deels toxisch zijn. De rol van uit het milieu gebonden stoffen wordt veelal als gering beschouwd ten opzichten van opname via de normale voedselketen (Besseling et al. 2017; SAPEA 2019), maar voor ingebouwde additieven tasten we nog in het duister.

3.5 Effecten van zwerfvuil en plastics op vissen van de Waddenzee en Noordzee

Wageningen Marine Research heeft onderzoek uitgevoerd naar microplastics in vissen. In vijf van zeven veel voorkomende Noordzeevissoorten (haring, grauwe poon, wijting, horsmakreel, schelvis, makreel en kabeljauw) is in 2,6% van de gevallen microplastics in de maag aangetroffen (Foekema et al. 2013). In grauwe poon en makreel werd niets gevonden. In een vervolgstudie aan sprat waarin onder zeer gecontroleerde schone omstandigheden is gewerkt, zijn twee plastic deeltjes in één individu aangetroffen in een monstergrootte van 400 individuen (Hermsen et al. 2017). Deze resultaten suggereren een geringe directe inname van plastics door vissen, maar kunnen geen kwantitatieve uitspraken doen over microvezels (vanwege de procesvervuiling) en de kleinste micro- en nanoplastics, waarvoor nog geen technieken beschikbaar zijn om deze in veldmonsters te kunnen bepalen.

Verreweg het grootste deel van de lading bestaat uit voorwerpen die niet door vissen kunnen worden ingenomen. Dergelijke voorwerpen op de zeebodem kunnen echter wel een schuilplaats gaan bieden voor vissen op de zeebodem (kunstmatige riffen). Of, en de mate waarin, vissen zich concentreren rondom het containerafval op de zeebodem is onbekend en kan onderzocht worden met behulp van akoestische methoden.

3.6 Effecten van zwerfvuil en plastics op vogels en zeezoogdieren van de Waddenzee en Noordzee

Vogels en zeezoogdieren kunnen juist effecten ondervinden van de grotere onderdelen uit de lading van de MSC Zoe, met name door verstrikking en inname/opeten (Browne et al. 2015). Verstrikking is goed beschreven voor visnetten, maar vindt ook plaats door bv. verpakkingen van blikjes, rubber ringen, touw of lint. Verstrikking kan leiden tot ingesnoerde huid, infecties, interne verwondingen, blokkades, vermindering van voedselinname en sterfte. Inname van plastics is beschreven voor veel diersoorten, met name voor vogels en zeezoogdieren (Kühn et al. 2015). Vogels met veel plastics in de maag groeien langzamer en hebben een slechtere conditie. Internationale literatuur geeft aan dat het in veel gevallen lastig is om te bewijzen dat plastic inname de oorzaak is voor directe sterfte bv. vanwege de steekproefgrootte van gevonden slachtoffers. Subletale effecten zoals conditievermindering, groeivermindering of verlies van reproductiecapaciteit zijn te verwachten. Zulke niet direct dodelijke effecten maken het zeer moeilijk om de gevolgen op populatieniveau te berekenen binnen het brede scala aan factoren met invloed op de populaties, ook omdat voor de meeste zeedieren cijfers ontbreken van de huidige populatieomvang en (natuurlijke) mortaliteit.

Wageningen Marine Research doet al tientallen jaren onderzoek aan plastics in de magen van stormvogels, dat tegenwoordig gebruikt wordt als OSPAR en KRM indicator voor de mate van plastic vervuiling op zee (Van Franeker et al. 2011, Van Franeker & Kühn 2018). De monitoring laat een dalende trend zien van de hoeveelheden plastic, maar het ecologische doel voor de Noordzee (EcoQO) wordt naar verwachting pas in 2060 bereikt. WMR heeft daarnaast plastics aangetroffen in 11% van de magen van dode zeehonden, die als gevolg van een virusepidemie in 2002 dood werden gevonden (Bravo Rebolledo et al. 2013). De hoeveelheden plastics zijn echter zeer klein (gemiddeld 0.2 gram per zeehond). In 7-15% (afhankelijk van de analysemethode) van de magen van dode bruinvissen is tevens plastic gevonden (Van Franeker et al. 2018). Recent heeft WMR een gestandaardiseerd protocol ontwikkeld voor maagonderzoek naar plastics (Van Franeker et al. 2018).

Onderzoek (onder superschone omstandigheden) heeft laten zien dat microplastics in alle soorten zeezoogdieren, die leven in de Noordzee en in de Waddenzee, kunnen worden aangetroffen, maar dat de effecten van deze partikels op de dieren vermoedelijk verwaarloosbaar klein zijn (Nelms et al. 2019). In magen van potvissen die op Noordzeekusten stranden is relatief veel plastic aangetroffen, met spectaculaire items als grote vellen plastic, lange stukken touw en een auto-onderdeel. In geen van de onderzochte potvissen had deze maaginhoud echter geleid tot de dood (Unger et al. 2016).

Gevolgen op populatieniveau van zeehonden of bruinvissen zijn in de eerste twaalf weken na de containerramp niet waargenomen. Aangezien zeehonden en bruinvissen zeer mobiele organismen zijn, en kunnen foerageren in de nabijheid van de voorwerpen op de zeebodem, is het wel zaak om effecten van verstrikking of inname te monitoren. Ook kan door middel van analyse van zenderdata van zeehonden onderzocht worden of zeehonden in de buurt komen van containerafval op de zeebodem.

Een specifieke zorg in verband met het containerdrama met de MSC Zoe betreft de inname van kleine plastic deeltjes door vogels, bijvoorbeeld de kunststof nurdles. Deze korreltjes kunnen door sommige vogelsoorten worden aangezien voor voedsel. Ook andere kleine voorwerpen kunnen door vogels worden opgegeten. Het is bekend dat noordse stormvogels en meeuwen een brede voedselsamenstelling hebben, weinig specifiek foerageren en hiermee relatief veel plastic voorwerpen innemen. Visetende vogels lijken minder snel plastic op te pikken. De grote stern, visdief, fuut, alk of zeeoet jagen gericht op (scholen) zwemmende vis in de waterkolom en zullen minder snel drijvend plastic opeten. Vogels die vissen van de bodem eten, zoals aalscholvers en duikers, kunnen wel plastic van de bodem pakken. Wij verwachten dat de meeste steltlopers relatief weinig plastics zullen innemen. Deze soorten als scholekster, wulp, tureluur, zilverplevier, kluut of kanoet foerageren veelal op specifieke wijze naar wormen of openen behoedzaam schelpdieren. De lepelaar heeft mogelijk een hogere gevoeligheid. De foerageerwijze is om met de snavel onder water te woelen naar kleine vis en garnalen. Het neemt hierbij ook plantenresten, steentjes, etc. tot zich en het zou dus ook kunststof voorwerpen kunnen consumeren. Ook denken we dat schelpdiereters als de zwarte zee-eend of de eidereend een grotere kans hebben plastics binnen te krijgen. Deze soorten duiken naar de zeebodem

en proberen zo snel mogelijk hele schelpen naar binnen te werken. Van de eidereend is bekend dat hij zich bij het foerageren zo nu en dan vergist en plastic voorwerpen naar binnen werkt. De eidereend is daarmee een goede kandidaat voor lange-termijn monitoringsonderzoek naar de gevolgen van de containerramp met de MSC Zoe op het ecosysteem van de Waddenzee en de zwarte zee-eend voor de Noordzee kustzone. Door middel van monitoring van de maaginhoud van eenden die in of rond de Waddenzee dood worden gevonden kan gevolgd worden in hoeverre plastics of andere voorwerpen worden ingenomen.

Dieetonderzoek aan zee- en kustvogels is in Nederland maar voor een beperkt aantal soorten gedaan en voor de soorten die wel zijn onderzocht staat nog niet in alle gevallen vast of ook het voorkomen van plastics in magen, darmen, braakballen of feces is meegenomen. Voor de volgende vogelsoorten beschikken WMR en NIOZ over basisgegevens (met meer dan 100 individuen per soort): eidereend, roodkeelduiker, noordse stormvogel, aalscholver, kanoet, wulp**, kleine mantelmeeuw, zilvermeeuw, zeekoet en alk.

**wulp: in de jaren '80 heeft een incident op de Waddenzee plaatsgevonden waarbij een onbekend (groot) aantal wulpen is verdrongen tijdens de mist. Destijds zijn er vogels voor onderzoek verzameld en deze zijn (intact) bewaard gebleven in de vriezers van het NIOZ.

3.7 Epiloog

Ook het opruimen van de containers en het daaruit afkomstige afval kan effecten hebben op het ecosysteem van de Waddenzee en Noordzee. Effecten bestaan uit betreding en verstoring van gevoelige kusthabitats wanneer mensen en machines het aangespoelde afval verwijderen. De inzet van strandschoonmaakmachines kan resulteren in het verwijderen van de ecologisch waardevolle vloedlijnen die bestaan uit organisch materiaal zoals zeewier en belangrijk zijn voor ongewervelden en voor duinvorming. Effecten kunnen ook optreden wanneer containers tijdens berging door schepen uit elkaar vallen en de lading kapot gaat en verder verspreidt. Tot slot kunnen technieken om sneller afval te verzamelen, zoals dreggen, leiden tot verstoring van bodemhabitats en organismen op de zeebodem.

4 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Literatuur

- Andrady, A.L. (2015). Persistence of plastic litter in the oceans, pp 57-72 Chpt. 3 In: Bergmann, M., Gutow, L., and Klages, M. (eds). *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Berlin. <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-16510-3>.
- Andrady, A.L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin* 119: 12-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>.
- Besseling E, Foekema E.M, van den Heuvel-Greve M.J., A.A. Koelmans (2017). The Effect of Microplastic on the Uptake of Chemicals by the Lugworm *Arenicola marina* (L.) under Environmentally Relevant Exposure Conditions. *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51, 8795–8804. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b02286>
- Bravo Rebolledo, E.L.B., Van Franeker, J.A., Jansen, O.E., & Brasseur, S.M. (2013). Plastic ingestion by harbour seals (*Phoca vitulina*) in The Netherlands. *Marine pollution bulletin*, 67(1-2), 200-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.035>
- Browne, M.A., Underwood, A.J., Chapman, M.G., Williams, R., Thompson, R.C., & van Franeker, J.A. (2015). Linking effects of anthropogenic debris to ecological impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1807), 20142929. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.2929>
- Chae, Y., & An, Y.J. (2017). Effects of micro-and nanoplastics on aquatic ecosystems: Current research trends and perspectives. *Marine pollution bulletin*, 124(2), 624-632. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.070>
- Devriese, L.I., van der Meulen, M.D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., ... & Vethaak, A.D. (2015). Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Marine pollution bulletin*, 98(1-2), 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.051>
- Fleet D.M., Dau K., Gutow L., Schulz M., Unger B. & van Franeker J.A. (2017). Marine litter. In: *Wadden Sea Quality Status Report 2017*. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. Version updated 21.12.2017. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/marine-litter>
- Foekema, E.M., De Gruijter, C., Mergia, M.T., van Franeker, J.A., Murk, A.J., & Koelmans, A.A. (2013). Plastic in north sea fish. *Environmental science & technology*, 47(15), 8818-8824. <http://dx.doi.org/10.1021/es400931b>
- Foekema, E.M., Heuvel-Greve, M.J., Murk, A.J., & Koelmans, A.A. (2017). Plastics in mosselen. Report Wageningen Marine Research C055/17. <https://doi.org/10.18174/419680>
- Hermesen, E., Pompe, R., Besseling, E., & Koelmans, A.A. (2017). Detection of low numbers of microplastics in North Sea fish using strict quality assurance criteria. *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.051>
- Hermesen, E., Mintenig, S.M., Besseling, E., & Koelmans, A.A. (2018). Quality criteria for the analysis of microplastic in biota samples: a critical review. *Environmental science & technology*, 52(18), 10230-10240. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01611>
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A.; Narayan, R. & Law, K.L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean.. *Science* 347(6223): 768-771 <http://dx.doi.org/10.1126/science.1260352>.
- Koelmans, A.A., Adil Bakir, G. Allen Burton & Colin R. Janssen (2016). Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. *Environmental science & technology*, 2016, 50 (7), 3315–3326. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06069>
- Kühn, S., Rebolledo, E.L.B., & van Franeker, J.A. (2015). Deleterious effects of litter on marine life. In *Marine anthropogenic litter* pp. 75-116. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4
- Kühn S., van Oyen A., Booth A.M., Meijboom A., van Franeker J.A. (2018) Marine Microplastic: Preparation of Relevant Test Materials for Laboratory Assessment of Ecosystem Impacts. *Chemosphere* 213: 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.032>
- McLeod, P.B., Van Den Heuvel-Greve, M.J., Allen-King, R.M., Luoma, S.N., & Luthy, R.G. (2004). Effects of particulate carbonaceous matter on the bioavailability of benzo[a]pyrene and 2,2', 5,5'-tetrachlorobiphenyl to the clam, *Macoma balthica*. *Environmental Science & Technology*, 38(17), 4549-4556. <https://doi.org/10.1021/es049893b>

-
- Nelms S.E., Barnett J., Brownlow A., Davison N.J., Deaville R., Galloway T.S., Lindeque P.K., Santillo D., Godley B.J. (2019). Microplastics in marine mammals stranded around the British coast: ubiquitous but transitory? *Nature Scientific Reports*, <https://www.nature.com/articles/s41598-018-37428-3>
- Ogata, Y., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., ... & Murakami, M. (2009). International pellet watch: global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine pollution bulletin*, 58(10), 1437-1446. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.014>
- RIVM (2017): Nieuwsbrief microplastics 1 juni 2017. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu Centrum voor Veiligheid van Stoffen en Producten, Bilthoven. <https://www.rivm.nl/microplastics/nieuwsbrief/nieuwsbrief-1-juni-2017/microplastics-in-lucht-hebben-mogelijk-gevolgen-voor-gezondheid-van-mensen>
- SAPEA (2019). A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society.. SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies. Berlin, 173pp. <https://www.sapea.info/wp-content/uploads/report.pdf>
- Stafford, R. & Jones, P.J. (in press). Viewpoint–Ocean plastic pollution: A convenient but distracting truth? *Marine Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.003>
- Unger B., Bravo Rebolledo E.L., Deaville R., Gröne A., IJsseldijk L.L., Leopold M.F., Siebert U., Spitz J., Wohlsein P., Herr H. (2016). Large amounts of marine debris found in spermwhales stranded along the North Sea coast in early 2016. *Marine Pollution Bulletin*: 112: 134-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.027>
- Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegheuchte, M.B., & Janssen, C.R. (2015). Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environmental Pollution*, 199, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.008>
- Van Franeker, J.A., Blaize, C., Danielsen, J., Fairclough, K., Gollan, J., Guse, N., ... & Olsen, B. (2011). Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea. *Environmental Pollution*, 159(10), 2609-2615. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.008>
- Van Franeker, J.A., Rebolledo, E.L.B., Hesse, E., IJsseldijk, L.L., Kühn, S., Leopold, M., & Mielke, L. (2018). Plastic ingestion by harbour porpoises *Phocoena phocoena* in the Netherlands: Establishing a standardised method. *Ambio*, 47(4), 387-397. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1002-y>
- Van Franeker, J.A. & Kühn, S. (2018). Fulmar Litter EcoQO monitoring in the Netherlands - Update 2017. Wageningen Marine Research Report C060/18 & RWS Centrale Informatievoorziening BM 18.20. Den Helder, 60pp.
- Waring, R.H., Harris, R.M., & Mitchell, S.C. (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? *Maturitas* 115: 64-68. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.06.010>
- Ziccardi, L.M., Edgington, A., Hentz, K., Kulacki, K.J., Driscoll, S.K. (2016). Microplastics as vectors for bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in the marine environment: A state-of-the science review. *Environmental Toxicology and Chemistry* 35, 1667-1676. <https://doi.org/10.1002/etc.3461>

Verantwoording

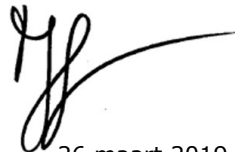
Rapport C029/19

Projectnummer: 4318100281

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Drs. Mw. M.J. van den Heuvel - Greve
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 26 maart 2019

Akkoord: Drs. J. Asjes
Manager integratie

Handtekening:



Datum: 26 maart 2019

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'
