

Microplastics: minuscule partikels met grote gevolgen?

Microplastics: minuscule particles with big consequences?

¹S. Knoll, ¹A. Decostere, ¹A.M. Declercq

¹Department of Pathology, Bacteriology and Poultry Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Ghent University, Salisburylaan 133, 9820 Merelbeke, Belgium

Stephane.Knoll@UGent.be

SAMENVATTING

Sinds het begin van de massaproductie van plastics vormt de contaminatie van het mariene milieu met deze persisterende synthetische stoffen een alsmaar groter probleem. De laatste decennia wordt aangenomen dat microplastics hierbij een grote rol spelen. Deze kleine plastic partikels (< 5mm) komen voor in het mariene milieu en kennen diverse bronnen, waaronder fragmentatie van macroplastics en de afvoer van primaire microplasticscrubs via afvalwater. Recent onderzoek heeft uitgewezen dat microplastics door talrijke mariene organismen opgenomen worden. Dit zou kunnen leiden tot gezondheidsproblemen, onder meer door mechanische schade en door cellulaire toxiciteit. Hiernaast wordt de microplasticproblematiek gecompliceerd door de contaminatie van deze partikels met toxische chemicaliën. Bovendien zouden microplastics en microplastic-gebonden contaminanten kunnen accumuleren in de voedselketen en uiteindelijk bij de mens terecht komen. Ondanks het toenemend aantal publicaties omtrent microplastics zijn er nog veel onbeantwoorde vragen. In dit artikel wordt de actuele kennis besproken aangaande microplastics in het mariene milieu.

ABSTRACT

Since the mass production of plastics, contamination of the marine environment with these persistent synthetic materials has become an ever-increasing problem. Lately, it has become clear that microplastics play a big part in this. These small plastic particles (< 5mm) are ubiquitous in seawater and sediments. There are various entryways, such as fragmentation of macroplastics and drainage of primary microplastic via wastewater. Recent studies have shown that microplastics may be ingested by numerous marine organisms. This could result in diverse health effects, including mechanical injury and cellular toxicity. Adverse effects of microplastics are possibly enhanced by the contamination of these plastic particles with toxic chemicals. Furthermore, microplastics and microplastic contaminants could accumulate in the food chain, eventually affecting humans. Despite the growing number of publications on microplastics, there are still many unanswered questions regarding this topic. In this article, the contemporary knowledge of microplastics in the marine environment is provided.

INLEIDING

Plastics of kunststoffen zijn synthetische organische moleculen. Deze stoffen worden gevormd door polymerisatie van monomeren gewonnen uit gas en olie. Hieraan worden diverse chemische additieven toegevoegd om specifieke eigenschappen te bekomen (Rios et al., 2007; Thompson et al., 2009a). Algemeen zijn plastics licht, stevig, duurzaam, resistent, corrosieresistent en hebben een hoge thermische en elektrische isolatiecapaciteit. Als gevolg van de variabele eigenschappen van plastics zijn de toepassingen voor deze moleculen zo goed als oneindig. Boven-

dien is het productieproces van plastics erg goedkoop (Thompson et al., 2009a; Sivan, 2011), waardoor de wereldwijde plasticindustrie jaar na jaar blijft groeien (PlasticsEurope, 2015). Tussen 1960 en 2000 is de productie van plastics maar liefst 25 maal gestegen (Moore, 2008). In 2014 werd een jaarlijkse plasticproductie van 310 miljoen ton gerapporteerd (Plastics Europe, 2015).

Veel van de toepassingen van plastics zijn de dag van vandaag onmisbaar. Plastics hebben voor tal van medische, technologische en humanitaire vooruitgang gezorgd (Barnes et al., 2009; Thompson et al., 2009a). Anderzijds valt een groot deel van de plastic produc-



Figuur 1. Plastic afval gevonden aan de vloedlijn, Oostende, België (© ILVO, 2017).



Figuur 2. Plastic afval verzameld uit het mariene milieu (© ILVO, 2017).

ten onder de groep van “wegwerpplastics” (Rios et al., 2007). Deze groep bestaat voornamelijk uit verpakkingen en verpakkingsmaterialen, die zeer vaak binnen het jaar na productie worden weggegooid. Wegwerpplastics vertegenwoordigen meer dan een derde van de totale plasticproductie (Andrady, 2011). Logischerwijs resulteert dit in een enorme hoeveelheid plastic afval. Globaal bestaat onze gemiddelde afvalberg voor 10% uit plastics (Barnes et al., 2009; Thompson et al., 2009a). Een deel van dit afval wordt gerecycleerd, de rest wordt verbrand, gestort of komt in het milieu terecht (Hopewell et al., 2009). Van deze laatste vloeit een substantiële hoeveelheid af naar het mariene milieu (Figuur 1). Marien afval zou tot 60-80% uit plastics bestaan (Lusher et al., 2014) en dit kan op sommige locaties oplopen tot meer dan 90% (Derraik, 2002). Zo worden plastics gevonden in zo goed als alle natuurlijke habitats, gaande van de poolcirkels tot aan de evenaar (Barnes et al., 2009; Thompson et al., 2009a). Bovendien zouden plastics als een van de meest persistente vormen van vervuiling in het mariene milieu optreden (Rios et al., 2007; Moore, 2008). Deze moleculen zijn erg resistent tegen fysische en biologische degradatie (Rios et al., 2007; Sivan, 2011). De halfwaardetijd van plastics wordt geschat op honderden tot duizenden jaren en mogelijk

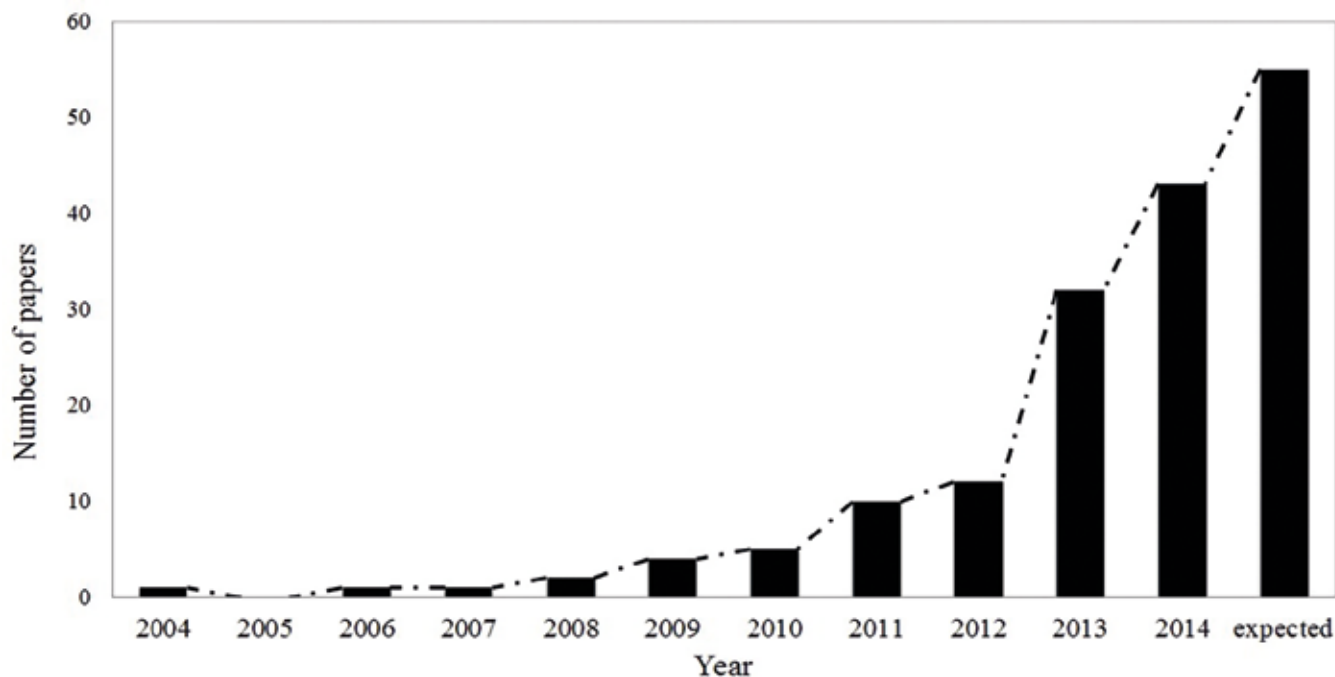
nog langer rond de polen en in de diepste gedeelten van de zee (Barnes et al., 2009).

MICROPLASTICS

Plastic afval in het mariene milieu wordt volgens grootte onderverdeeld in verschillende klassen: macroplastics (>20 mm diameter), mesoplastics (5-20 mm), microplastics (<5 mm) (Ryan et al., 2009). Onder deze laatste vallen ook de nanoplastics (1-100 nm) (EFSA, 2016). In vergelijking met macroplastics is er aanzienlijk minder onderzoek gebeurd naar het voorkomen en de mogelijke effecten van microplastics in het mariene milieu (Figuur 2). Het aantal publicaties over microplastics in het mariene milieu is in de laatste tien jaar echter exponentieel gestegen, met een grote vooruitgang in de kennis van dit onderwerp tot gevolg (Figuur 3).

Microplastics kunnen verder worden onderverdeeld in primaire en secundaire microplastics. Primaire microplastics zijn kleine stukjes plastic die, in tegenstelling tot secundaire microplastics, bewust het eindresultaat van een productieproces zijn. Deze plastics worden gebruikt in bepaalde zepen, huidscrubs of andere schoonheidsproducten, waarna deze via het afvalwater in het aquatische milieu kunnen terechtkomen (Fendall en Sewell, 2009; Gouin et al., 2011; Van Cauwenberghe et al., 2015). Deze minuscule partikels zijn vaak te klein om te worden gecapteerd door waterzuiveringsinstallaties (Fendall en Sewell, 2009). Het zijn voornamelijk de populatiegrootte en de kwaliteit van waterzuiveringsinstallaties die mee bepalen in hoeverre een land bijdraagt tot de afvoer van niet-gecapteerd plastic afval naar de mariene omgeving (Jambeck et al., 2015). Sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw is het gebruik van dergelijke primaire microplastics drastisch gestegen. Deze hebben het gebruik van natuurlijke scrubs, zoals vermalen amandelen, haveremout en puimsteen, in zepen en cosmetische producten vervangen (Cole et al., 2011). Een andere vorm van primaire microplastics zijn pellets. Dit zijn plastic korrels geproduceerd als primair product voor latere verwerking tot allerlei plastic goederen (Thompson et al., 2009b). Pellets bereiken het mariene milieu via het afvoerwater van fabrieken, of bijvoorbeeld door ongelukken op zee gerelateerd aan het transport van deze plastics (Cole et al., 2011). Een derde bron van primaire microplastics zijn resten of afval afkomstig van het zandstralen met synthetische media (Thompson et al., 2009b; Ivar do Sul en Costa., 2014). Hierbij worden plastic partikels aan hoge snelheden afgevuurd om onder meer roest en verf van boten of constructies in zee te verwijderen. Deze partikels worden herhaaldelijk gebruikt waarna ze vaak in het mariene milieu eindigen (Cole et al., 2011).

De hoofdbron van de mariene toevoer van microplastics zou het degradatie- en fragmentatieproces van macro- en mesoplastics zijn (Andrady, 2011). Plastics in het mariene milieu ondergaan namelijk foto-oxida-



Figuur 3. Aantal publicaties over microplastics tussen 2004 en 2014 en de verwachte stijging (Naar: Barboza en Gimenez, 2015).

tie. Bij blootstelling aan onder andere UV-stralen in zonlicht, samen met de oxidatieve eigenschappen van de atmosfeer en de hydrolytische eigenschappen van zeewater, verliezen plastics hun treksterkte en worden erg broos (Moore, 2008; Sivan, 2011; Law en Thompson, 2014). Tijdens dit proces behoudt plastic zijn originele structuur maar verliest deze aan stevigheid. De plastics vallen in steeds kleinere stukken uiteen, waardoor er na verloop van tijd een reusachtig reservoir aan kleine plastic fragmenten ontstaat (Rios et al., 2007; Moore, 2008; Barnes, 2014; Barnes et al., 2009; Sivan, 2011; Law en Thompson, 2014). Wanneer deze fragmenten klein genoeg zijn, worden ze secundaire microplastics genoemd (Law en Thompson, 2014).

Een andere bron van secundaire microplastics in het mariene milieu is biologisch afbreekbare plastics (Thompson et al., 2004). Theoretisch gezien zijn alle plastics biologisch afbreekbaar, maar de degradatie van synthetische (geproduceerd op basis van olie) plastics is van dergelijk lange duur dat deze als persistent worden bestempeld. Bioplastics daarentegen zijn plastics geproduceerd uit natuurlijke producten en zouden bijgevolg wel biologisch afbreekbaar zijn (Soroudi en Jakubowicz, 2013). Een product dat biologisch afbreekbaar is, kan -in bepaalde omstandigheden en op een relatief korte tijdsperiode door micro-organismen worden afgebroken tot koolstofdioxide, methaan en water (UNEP, 2015, 2016). Echter, de biodegradeerbaarheid van bioplastics is grotendeels afhankelijk van het milieu waarin deze producten zich bevinden. Bioplastics zijn namelijk ontworpen om onder specifieke condities afbreekbaar te zijn. Dit proces is temperatuursafhankelijk en sommige plastics gelabeld als zijnde biodegradeerbaar vereisen

omgevingen typisch voor industriële eenheden, zoals langdurig contact aan temperaturen boven de 50°C, vooraleer volledige disintegratie optreedt. Dergelijke situaties worden zelden, zo niet nooit bereikt in het mariene milieu (UNEP, 2015, 2016). Bovendien bestaan de meeste biologisch afbreekbare plastics slechts deels uit biologisch afbreekbare materialen. Na afbraak van deze natuurlijke producten blijven de synthetische polymeren over. Deze polymeren ondergaan vervolgens dezelfde degradatie als andere plastic fragmenten, met uiteindelijk het vrijkomen van secundaire microplastics tot gevolg (Cole et al., 2011). Tegenwoordig is er geen wetenschappelijk bewijs voorhanden dat stelt dat zogenaamd biodegradeerbare plastics de hoeveelheid plastics in het mariene milieu zouden verlagen (UNEP, 2015, 2016). Ten slotte vormen synthetische filamenten, die vrijkomen bij het wassen van kledij, ook nog een belangrijke bron van secundaire microplastics. Er wordt geschat dat bij het wassen van 6 kg synthetische kleding tot meer dan 700.000 microfibrillen kunnen vrijkomen bij elke wasbeurt (Napper en Thompson, 2016).

VOORKOMEN IN HET MARIENE MILIEU

Fragmentatie van plastic afval heeft ervoor gezorgd dat de hoeveelheid aan plastic partikels in het mariene milieu drastisch is toegenomen (Moore, 2008; Law en Thompson, 2014). Microplastics zijn heden ten dage een van de meest voorkomende vormen van vervuiling in het mariene milieu en er wordt gespeculeerd dat de hoeveelheid microplastics in de toekomst zal blijven toenemen (Moore, 2008; Law en Thompson, 2014; Weinstein et al., 2016). Exacte ken-

nis van het voorkomen van microplastics in de mariene omgeving is de laatste jaren toegenomen, maar blijft beperkt (Browne et al., 2010; Claessens et al., 2011; Cole et al., 2011; Doyle et al., 2011; GESAMP, 2015). Het is moeilijk om globaal de exacte hoeveelheid, concentratie en distributie van microplastics te kwantificeren. Dit zou accurate data met betrekking tot alle bronnen en degradatiesnelheden van macroplastics, samen met de bronnen van primaire microplastics in het mariene milieu vergen. Daarnaast is het zeer moeilijk om microplastics die het mariene milieu reeds hebben gecontamineerd, te kwantificeren, voornamelijk door de grootte van deze partikels in vergelijking met de grootte van de zeeën en oceanen op aarde. Daarom is het van groot belang dat de aanwezigheid, concentratie en verspreiding van microplastics in zeewater, sediment en biota worden opgenomen in de nationale monitoring van de verscheidene landen. Bovendien maken stromingen en seizoensgebonden patronen de verdeling van microplastics complexer (Cole et al., 2011; Doyle et al., 2011). Recent onderzoek naar ruimtelijke patronen van microplastics heeft kunnen aantonen dat plastic partikels in de waterkolom accumuleren ter hoogte van gyres (Moore et al., 2001; Law et al., 2010; Cole et al., 2011). Gyres zijn circulaire stromingen van oceaanwater in het centrum van subtropische stromingen en fungeren bijgevolg als massieve reservoirs voor marien plastic afval (Ryan et al., 2009). Temporale patronen van microplastics in het mariene milieu zijn zeer divers en de kennis van de verspreidingswegen van microplastics is gering. Ook de verdeling van microplastics binnen de waterkolom en over verschillende ecosystemen is zeer uiteenlopend (Ryan et al., 2009).

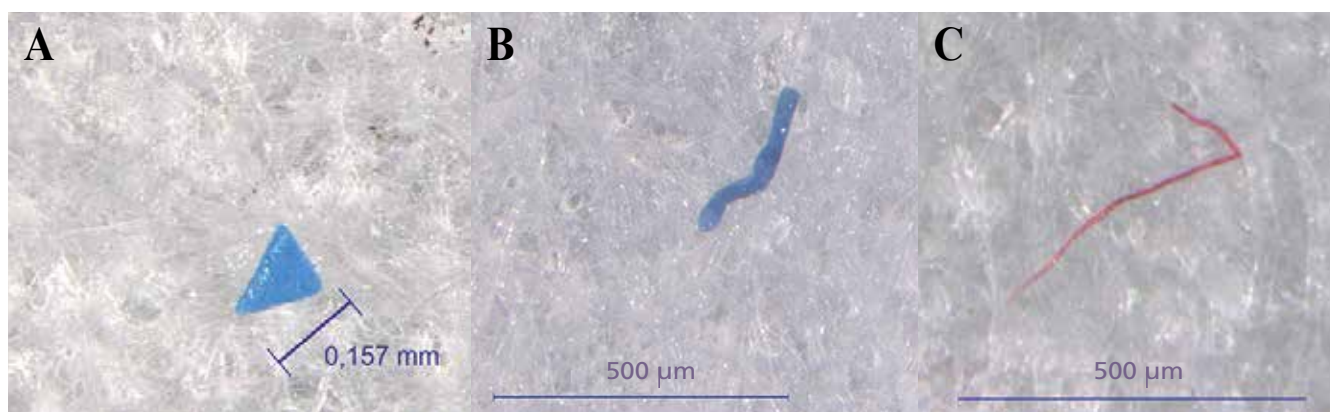
Sinds de ontdekking van microplastics in het mariene milieu in de jaren zestig van de vorige eeuw (Kenyon en Kridler, 1969) worden microplastics aangetoond in open water, ter hoogte van stranden en kustgebieden en in sedimenten (Barnes et al., 2009). Mariene sedimenten worden beschouwd als een belangrijke accumulatieplaats voor bepaalde microplastics (Van Cauwenberghe et al., 2013, 2015). Plastic fragmenten met een densiteit hoger dan die van zeewater ($>1,02 \text{ g/cm}^3$) zinken naar de bodem en worden daar “gevangen”. Bovendien zorgt de accumulatie

van diverse (micro)organismen op plastic fragmenten in het mariene milieu voor een verhoging van de densiteit van deze fragmenten waardoor deze uiteindelijk zinken. Dit proces wordt “biofouling” genoemd (Barnes et al., 2009; Andrady, 2011; Van Cauwenberghe et al., 2013, 2015; Weinstein et al., 2016). Men heeft kunnen aantonen dat microplasticconcentraties gangbaar hoger zijn in sterk bevolkte kustgebieden (Doyle et al., 2011; Van Cauwenberghe et al., 2015). Verder zou afvoer van zoetwater naar het mariene milieu via rivieren en kanalen een belangrijke rol spelen in de aanvoer van microplastics. Stalen genomen ter hoogte van riviermondingen vertonen algemeen hoge concentraties aan microplastics (Van Cauwenberghe et al., 2015). Tabel 1 biedt een overzicht van microplasticconcentraties aangetoond op uiteenlopende locaties over de hele wereld. Anderzijds drijven plastic fragmenten met een lagere densiteit dan die van zeewater aan de oppervlakte of bevinden zich in de waterkolom (Van Cauwenberghe et al., 2015). Het merendeel van de lagedensiteit-microplastics bevindt zich in de microlaag aan het wateroppervlak (Cole et al., 2011).

OPNAME EN ACCUMULATIE IN DE VOEDSELKETEN

Als gevolg van het fragmenteren van plastics in het mariene milieu, stijgt het aantal plastic fragmenten waarmee mariene organismen in contact kunnen komen. Bijkomend kunnen deze door het steeds kleiner worden van plastic fragmenten door steeds meer mariene soorten worden opgenomen (Moore, 2008; Barnes et al., 2009; Cole et al., 2011).

Door hun prominente aanwezigheid en hun enorme diversiteit in vorm en kleur kunnen plastic fragmenten in het mariene milieu als natuurlijke prooi worden aanzien (Moore, 2008) en met de natuurlijke voeding worden opgenomen (Browne et al., 2008; Fendall en Sewell, 2009). Microplastics hebben ongeveer dezelfde afmetingen als plankton en zandkorrels, waardoor deze kleine partikels makkelijk worden opgenomen door laagtrofische organismen (Browne et al., 2008; Moore, 2008) (Figuur 4). Dit maakt organismen aan de bodem van de voedselketen bijzonder gevoelig



Figuur 4. Lichtmicroscopische beelden van microplastics uit de maag van sprot (*Sprattus sprattus*) (© ILVO, 2017).

Tabel 1. Aanwezigheid van microplastics in sedimenten wereldwijd. Locaties met specificaties, bijvoorbeeld sedimenttype, worden aangebracht samen met de deeltjesgrootte (naar: Van Cauwenberghe et al., 2015).

Continent	Locatie	Specificaties	Partikelgrootte	Gemeten concentratie	Referentie
Afrika	Canarische Eilanden	Strand	1 mm – 5 mm	<1 - >100 g/L	Baztan et al., 2014
Amerika	Hawaiï	Strand	1 mm - 15 mm	541 - 18,559 partikkels/260 L	McDermid en McMullen, 2004
	VS	Florida subtidaal Maine subtidaal	250 µm - 4 mm	116 - 215 partikkels/L 105 items/L	Graham en Thompson, 2009
	Brazilië	Strand	2 mm - 5 mm	60 partikkels /m ²	Ivar do Sul et al., 2009
	Brazilië	Strand	0,5 mm - 1 mm 1mm - 20 mm	200 partikkels /0,01 m ² 100 partikkels /0,01 m ²	Costa et al., 2010
	Hawaiï	Strand	250 µm - 10 mm	0,12% - 3,3% plastic per gewicht	Carson et al., 2011
	Brazilië	Getijdenvlakte	1 mm - 10 cm	6,36 - 15,89 items/m ²	Costa et al., 2011
	Chili	Strand	1 mm - 4.75 mm	<1 - 805 items/m ²	Hidalgo-Ruz en Thiel, 2013
	Quebec	Riviersediment	400 µm - 2.16 mm	52 - 13,832 kralen/m ²	Castaneda et al., 2014
	Nieuw-Schotland	Strand	0.8 µm - 5mm	20 - 80 vezels/10 g	Mathalon en Hill, 2014
Azië	Singapore	Strand	1,6 µm – 5 mm	0 - 4 partikels/250 g droog	Ng en Obbard, 2006
	Indië	sloopwerf	1,6 µm – 5 mm	81,4 mg/kg	Reddy et al., 2006
	Zuid-Korea	Vloedlijn	2 mm - 10 mm	913 partikels/m ²	Heo et al., 2013
	Indië	Strand	1 mm – 5 mm	10 - 180 partikels/m ²	Jayasiri et al., 2013
	Zuid-Korea	Strand droge seizoen Strand regenseizoen	1 mm - 5 mm	8205 partikels/m ² 27,606 partikels/m ²	Lee et al., 2013
	Singapore	Mangrove	1,6 µm - 5 mm	36,8 partikels/kg droog	Nor en Obbard, 2014
	Pacific Northwest				
	Diepzeegel	300 µm – 5 mm	60 - 2020 partikels/m ²	Fisher et al., 2015	
	Zuid-Korea	Strand	50 µm – 5 mm	56 - 285,673 partikels/m ²	Kim et al., 2015
Europa	VK	Strand Subtidaal Zeearm	1,6 µm - 5 mm	0,4 vezels/50 mL 2,4 vezels/50 mL 5,6 vezels/50 mL	Thompson et al., 2004
	Zweden	Subtidaal	2 µm – 5 mm	2 - 332 partikels/100 mL	Norén, 2007
	VK	Strand	1,6 µm - 1mm	<1 - 8 partikels/50 mL	Browne et al., 2010
	VK	Strand (Noordzee) Strand (Kanaal)	38 µm - 1 mm	0,2 – 0,8 vezels/50 mL 0,4e1 vezels/50 mL 38	Browne et al., 2011
	België	Haven Continentaal plateau Strand	38 µm - 1 mm	166,7 partikels/kg droog 97,2 partikels/kg droog 92,8 partikels/kg droog	Claessens et al., 2011
	Portugal	Strand	1,2 µm - 5 mm	133,3 partikels/m ²	Martins en Sobral, 2011
	Duitsland	Stadsstrand Ruraal strand	1 mm - 15 mm	5000 - 7000 partikels/m ³ 150 - 700 partikels/m ³	Ballent et al., 2012
	Duitsland	Ebvlakte	1,2 µm - 5mm	0 - 621 partikels/10 g	Liebezeit en Dubaish, 2012
	Italië	Subalpiene meer	9 µm - 5 mm		
	1108 partikels/m ²	Imhof et al., 2013			
	Griekenland	Strand	1 mm - 2mm 2mm - 4mm	57 - 602 partikels/m ² 10 - 575 partikels/m ²	Kaberi et al., 2013
	België	Vloedlijn Eblijn	38 µm - 1 mm	9,2 partikels/kg droog 17,7 partikels/kg droog	Van Cauwenberghe et al., 2013
	Italië	Subtidaal	0,7 µm - 1 mm	672 - 2175 partikels/kg droog	Vianello et al., 2013
	Duitsland	Strand	<1 mm	1,3 – 2,3 partikels/kg droog	Dekiff et al., 2014
	Slovenië	Strand Sublitoriaal	0,25 - 5 mm	177,8 partikels/kg droog 170,4 partikels/kg droog	Laglbauer et al., 2014 Van
	Wereldwijd	Diepzee	5 µm - 1 mm	0,5 partikels/cm ²	Van Cauwenberghe et al., 2013

voor de ingestie van microplastics (Moore, 2008). Microplastics met een densiteit groter dan deze van zeewater zijn beschikbaar voor diverse bodemorganismen (Van Cauwenberghe et al., 2015). Anderzijds zijn lagedensiteitplastics aan het wateroppervlak beschikbaar voor opname door diverse planktonorganismen, zoals pijlwormen, vislarven en eenoogkreeftjes alsook voor allerlei vissen en zeevogels (Cole et al., 2013; Lin, 2016). Recent onderzoek bevestigt dat in het wild levende, laagtrofische zeedieren gecontamineerd kunnen zijn met microplastics. Zo werden microplastics aangetoond in onder meer de blauwe

mossel (*Mytilus edulis*), de Noorse kreeft (*Nephrops norvegicus*), de grijze garnaal (*Crangon crangon*) en eendenmosselen (*Lepas anatifera* en *Lepas pacifica*) (Van Cauwenberghe et al., 2015). Ook de aanwezigheid van microplastics in het spijsverteringsstelsel van allerlei wilde vissen werd gerapporteerd (Browne et al., 2008; Cole et al., 2011). Naast de directe ingestie kunnen zeedieren microplastics indirect opnemen door ingestie van prooidieren die op hun beurt microplastics hebben geaccumuleerd (Browne et al., 2008). Het is zeer waarschijnlijk dat, eens microplastics werden opgenomen door laagtrofische organismen, deze

vervolgens kunnen worden doorgegeven aan organismen hoger in de voedselketen en uiteindelijk tot bij de mens geraken (Farrell en Nelson, 2013).

Toch is er tegenwoordig weinig bekend over de trofische overdracht van microplastics (Browne et al., 2008; Murray en Cowie, 2011; Farrell en Nelson, 2013; Van Cauwenberghe et al., 2015). Om de mogelijke beweging van microplastics in de voedselketen beter te begrijpen is er nood aan verder onderzoek naar het voorkomen van verschillende types microplastics in verschillende organismen (GESAMP, 2015).

EFFECT OP MENS EN DIER EN RISICO'S VOOR DE VOEDSELKETEN

Aangezien microplastics worden opgenomen door diverse organismen die laag in de voedselketen staan, kan worden verondersteld dat de volledige voedselketen wordt beïnvloed door de mogelijke effecten van deze kleine plastic partikels (Bouwmeester et al., 2015). Zo zou deze vorm van vervuiling belangrijke implicaties kunnen hebben voor hele ecosystemen alsook voor de voedselveiligheid (Van Cauwenberghe et al., 2015).

Het is nog niet volledig opgeklaard hoe en of de ingestie van microplastics daadwerkelijk directe gevolgen heeft voor de gezondheid van mariene organismen (Cole et al., 2011; GESAMP, 2015). Het is mogelijk dat deze kleine plastic partikels nadelige mechanische gevolgen hebben voor laagtrofische zeedieren, analoog aan de effecten van macroplastics op grote dieren. Zo zouden plastic fragmenten anatomische structuren die nodig zijn voor de opname van voedsel, kunnen blokkeren of voor obstructie van het spijsverteringsstelsel kunnen zorgen (Barnes et al., 2009; Wright et al., 2013). De opname van microplastics zou ook potentieel zorgen voor een vals gevoel van verzadiging met verminderde voedselopname tot gevolg (Cole et al., 2011). Dit laatste zou kunnen leiden tot een vertraagde groei en hogere mortaliteit (Carlos de Sá et al., 2015). Microplasticingestie zou fysieke schade aan het spijsverteringsstelsel, of na translocatie, schade aan diverse organen kunnen aanrichten (Wright et al., 2013; Van Cauwenberghe et al., 2015).

Recent onderzoek heeft aangetoond dat zeedieren, zoals de gewone strandkrab (*Carcinus maenas*) microplastics kunnen opnemen en inhaleren met significante, doch tijdelijke gevolgen voor het ademhalingsstelsel (Watts et al., 2016). Andere mogelijke, directe effecten van microplasticopname zijn de inhibitie van enzymproductie, verlaagde hormoonspiegels, uitgestelde ovulatie en een verminderde fertiliteit (Wright et al., 2013). De biologische gevolgen voor dieren hoger in de voedselketen zijn minder bekend. Mogelijk kunnen de schadelijke gevolgen voor diverse organen aangericht door microplasticopname worden doorgetrokken naar hoogtrofische dieren (Carlos de Sá et al., 2015).

Naast de bovenvermelde fysieke gevaren van ingestie van microplastics brengt deze vorm van vervuiling nog tal van andere risico's met zich mee. Zo kunnen microplastics fungeren als bron van toxische, organische pollutanten (Barnes et al., 2009; Teuten et al., 2009; Law en Thompson, 2014). Persistente organische pollutanten of POPs adsorberen aan het oppervlak van microplastics via het omliggende zeewater (Endo et al., 2005; Rios et al., 2010). Deze moleculen hebben een hoge affiniteit voor het hydrofobe oppervlak van plastics (Mato et al., 2001; Teuten et al., 2009). In verschillende studies werd aangetoond dat plastics deze POPs kunnen concentreren en transporteren naar het mariene milieu (Mato et al., 2001; Rios et al., 2010; Bakir et al., 2014). Diverse POPs, zoals dichloordifenyiltrichloorethaan, polychloorbifenylen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen, werden reeds gevonden op marien, plastic afval (Gauquie et al., 2015; Rani et al., 2015). De aanwezige concentratie, het type en de verhoudingen van organische pollutanten gevonden in marien plastic afval variëren naargelang de mate waarin het omringende zeewater met POPs is vervuild. Deze vervuiling verschilt sterk per geografisch gebied, wat deze problematiek zeer complex maakt (Teuten et al., 2009).

Na inname van gecontamineerde microplastics door zeedieren zouden geabsorbeerde organische pollutanten kunnen worden vrijgesteld in het organisme (Barnes et al., 2009; Teuten et al., 2009; Law en Thompson, 2014). Recent onderzoek met pyreen (een veel voorkomende polycyclische, aromatische koolwaterstof op marien plastic afval) heeft aangetoond dat accumulatie van POPs in diverse weefsels kan optreden door inname van microplastics (Avio et al., 2015), wat meteen hun intrede in de voedselketen betekent. Dit brengt potentiële negatieve gevolgen met zich mee voor de diergezondheid, de voedselketen, het welzijn van mariene ecosystemen en de mens (Rios et al., 2007, 2010).

Ook potentieel gevaarlijke en toxische plasticadditieven uit microplastics kunnen vrijkomen in het milieu (Teuten et al., 2009; Law en Thompson, 2014). Plastics bestaan namelijk zelden alleen uit polymeren. Tijdens het productieproces worden allerlei additieven toegevoegd om specifieke eigenschappen te bekomen (Andrady en Neal, 2009; Teuten et al., 2009; Rani et al., 2015). Onder deze additieven vallen plastic vulstoffen die het plastic verstevigen, thermische stabilisatoren zodat kunststoffen kunnen worden verwerkt op hogere temperaturen, weekmakers om de plastics flexibeler te maken, vlamvertragers om de brandbaarheid te verlagen en UV-stabilisatoren om degradatie onder invloed van zonlicht te vertragen. Kleurstoffen en matmakers worden toegevoegd om het uitzicht van het eindproduct te bevorderen (Andrady en Neal, 2009; Rani et al., 2015). Andere additieven, zoals antioxidanten, worden in kleine hoeveelheden gebruikt in quasi alle plastic producten. Ook monomeren zoals bisfenol A worden vaak gebruikt als additieven (Rani et al., 2015). Aangezien vele van deze mole-

culen toxisch zijn, kunnen uiteenlopende negatieve effecten worden verwacht voor mens en dier (Moore, 2008; Barnes et al., 2009; Cole et al., 2011). Zo werd bijvoorbeeld aangetoond dat plasticadditieven mutageen, toxisch en bioaccumulatief kunnen zijn (Kim et al., 2011). Vele additieven hebben een reprotoxische werking (Teuten et al., 2009; Rani et al., 2015). Diverse vruchtbaarheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan additieven werden reeds aangetoond bij uiteenlopende diersoorten (Oehlmann et al., 2009). Verder zouden additieven ook een effect kunnen uitoefenen op endocriene organen (Teuten et al., 2009), lever- en spierenzymen, het gedrag, het steroïdhormoonmetabolisme en de ontwikkeling (Oehlmann et al., 2009). Anderzijds kan worden opgemerkt dat veel van de effecten van additieven werden vastgesteld na blootstelling aan zeer hoge concentraties die tot op heden niet voorkomen in het milieu (Oehlmann et al., 2009). Desalniettemin wordt gesteld dat deze additieven biomagnificatie kunnen ondervinden doorheen de voedselketen. Dit betekent dat deze toxische stoffen zich kunnen opstapelen in organismen hoger in de voedselketen, waardoor predatoren aan de top van de voedselketen mogelijk cumulatief hogere concentraties opnemen die schadelijke gevolgen kunnen hebben voor de gezondheid (Teuten et al., 2009).

Een ander luik met een belangrijke invloed op de (humane) gezondheid, betreft de aanwezigheid van micro-organismen. In het mariene milieu worden oppervlakten snel gekoloniseerd door een brede waaier aan micro-organismen die zich onder welbepaalde omstandigheden groeperen in een biofilm (Kirstein et al., 2016). In een biofilm zijn micro-organismen vastgehecht aan een oppervlak en gehuld in een zelf aangemaakte extracellulaire matrix (Ricucci en Siqueira, 2010). Welke micro-organismen wel dan niet voorkomen op microplastics is tot op heden niet volledig achterhaald (Kirstein et al., 2016). De samenstelling van micro-organismen op microplastics zou significant verschillen van deze van het omliggende zeewater (Zettler et al., 2013; De Tender et al., 2015). Eveneens werd bevestigd dat potentieel pathogene bacteriën en algen aanwezig kunnen zijn op microplastics (Keswani et al., 2016; Kirstein et al., 2016) met inbegrip van humane pathogene species (Zettler et al., 2013; Kirstein et al., 2016). Door de persistentie van plastic partikels in het mariene milieu en de mogelijkheid om over lange afstanden te worden meegevoerd, wordt aangenomen dat microplastics kunnen fungeren als vectoren voor het transporteren en verspreiden van pathogene micro-organismen. Zo zouden deze partikels een rol kunnen spelen bij het verspreiden van ziekten (Keswani et al., 2016; Kirstein et al., 2016). Verder is de kennis omtrent de effecten en de potentiële risico's van deze microscopische lifters nog niet bekend (Keswani et al., 2016).

Echter, gezien de globale vraag naar zeevruchten en vis enorm is (ongeveer 157 miljoen ton in 2012) (FAO, 2014), moeten alle potentiële gevolgen van mi-

croplastics voor de voedselveiligheid in acht worden genomen. Recent onderzoek toonde de aanwezigheid van microplastics in commercieel gekweekte mosselen (*M. edulis*) en oesters (*Crassostrea gigas*) aan. Aangezien deze organismen bedoeld zijn voor humane consumptie, moet rekening worden gehouden met de aanwezigheid van microplastics naar voedselveiligheid toe (Van Cauwenberghe en Janssen, 2014). Niet alleen wildvangst kan gecontamineerd zijn met microplastics, veel vormen van aquacultuur bestaan uit "open systemen" waarbij de gekweekte dieren worden blootgesteld aan alle contaminanten in zee-water, met inbegrip van microplastics (Van Cauwenberghe en Janssen, 2014). Daarenboven vormt het grote gebruik van vis als voeding in de aquacultuur ook een intredeweg voor microplastics in de voedselketen (Bouwmeester et al., 2015). Onlangs werd de aanwezigheid van microplastics in abiotische mariene producten voor humane consumptie zoals zeezout aangetoond (Yang et al., 2015).

In recente studies uitgevoerd met humane cellen en weefsels alsook in studies aan de hand van diermodellen wordt gesuggereerd dat microplastics schade kunnen aanrichten aan het maagdarmsstelsel bij mens en dier (GESAMP, 2015; Vethaak en Leslie, 2016). Bovendien kunnen zeer kleine plastic partikels doorheen humane celmembranen migreren en zo intracellulair terechtkomen, wat de biologische beschikbaarheid van toxische additieven en gebonden chemicaliën zou bevorderen. Eveneens werd het transport doorheen de bloed-hersenbarrière en de placentabarrière aangetoond (Vethaak en Leslie, 2016).

Algemeen heerst er nog veel onduidelijkheid over de exacte risico's van microplastics voor het mariene milieu en zeedieren. Hetzelfde geldt voor de risico's voor de voedselveiligheid en de mens (Law en Thompson, 2014; EFSA, 2016; GESAMP, 2015; Vethaak en Leslie, 2016). Voornamelijk de eventuele langetermijneffecten zijn tot op heden niet bekend, wat noopt tot verder onderzoek (Oehlmann et al., 2009; Farrel en Nelson, 2013).

CONCLUSIE

Microplasticscontaminatie van het mariene milieu is een zeer complex probleem. Deze vorm van pollutie kent diverse bronnen en ingewikkelde, ruimtelijke en temporele patronen. Deze kleine plastic partikels kunnen zeer uiteenlopende effecten hebben op gehele ecosystemen, mariene organismen alsook op de mens. Deze effecten worden verder gecompliceerd door plasticgebonden moleculen, contaminanten en micro-organismen. Sedert de eerste beschrijving van microplastics is er reeds veel bekend over deze kleine plastic partikels en werd veel vooruitgang geboekt in het onderzoek naar het voorkomen en de effecten van microplastics in het mariene milieu. Vooral de laatste tien jaar is dit onderzoeksveld exponentieel gegroeid.

Desalniettemin moet er nog veel onderzoek verricht worden. In het merendeel van de studies naar het voorkomen van microplastics wordt op microplastics in de waterkolom gefocust. Deze laatste vertegenwoordigen slechts een fractie van de totale hoeveelheid microplastics in het mariene milieu. Veel van de microplastics in het mariene milieu zakken naar de bodem, waar deze in sedimenten worden geïncorporeerd. De bodem van de zeeën en oceanen op aarde dreigen hierdoor een reusachtig reservoir voor microplastics te vormen, wat verder onderzoek vergt. Daarnaast zijn de ruimtelijke en temporele patronen van microplastics in het mariene milieu nog niet volledig bekend.

Om toekomstig onderzoek in goede banen te leiden, is er eerst en vooral nood aan standaardisatie binnen dit onderzoeksgebied. Microplastics moeten correct worden gedefinieerd. Er bestaat nog steeds geen duidelijke, internationaal aanvaarde definitie voor microplastics. Bovendien moeten standaardprocedures worden opgemaakt voor staalname-, isolatie-, detectie- en analysemethoden, alsook voor de gebruikte apparatuur van het onderzoek rond microplastics. Dit is essentieel voor de verdere aanpak van het microplasticprobleem.

De diverse effecten van microplastics en plasticgebonden moleculen moeten grotendeels nog worden achterhaald. Zo zijn de effecten van microplastics op de gezondheid van de mens quasi niet bekend, wat het onmogelijk maakt hier eenduidige conclusies over te trekken. Anderzijds is de kennis betreffende adsorptie van de verschillende types plasticgebonden moleculen en voor de verschillende types plastics in diverse condities in het mariene milieu beperkt. Ook hiernaar is meer onderzoek vereist.

Toekomstig onderzoek zou moeten toegespitst worden op de effecten van chronische blootstelling aan microplastics en dit onder relevante milieuconcentraties en -condities. Tot nog toe werden enkel kortetermijngevolgen (minder dan een maand) van microplastics en plasticgebonden moleculen bestudeerd. Bovendien zijn de gekozen concentraties in experimenten vaak tientallen keren hoger dan deze aangetoond in de natuur en wordt meestal het effect van slechts één type plastic, al dan niet samen met één pollutant of één additief, onderzocht. Dit is niet representatief voor de natuurlijke situatie in het mariene milieu waarin organismen worden blootgesteld aan cocktails van verschillende types contaminanten. Mogelijke interacties tussen deze moleculen kunnen resulteren in een verhoogde toxiciteit. Hierdoor is het van belang zo realistisch mogelijke condities na te streven in experimentele omstandigheden.

Tenslotte zijn de effecten op vissen en dieren, hoger in de voedselketen, nog niet ten gronde onderzocht. Tot op heden werden vooral labo-experimenten op laagtrofische organismen uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de effecten van microplastics grotendeels te wijten zouden zijn aan cellulaire toxiciteit na ingestie en translocatie. Aangezien translocatie van microplas-

tics naar diverse zoogdieren en mariene organismen is aangetoond, zou cellulaire toxiciteit evengoed bij hoog- als bij laagtrofische organismen kunnen voorkomen. Dit alles noopt tot verder onderzoek.

DANKWOORD

De auteurs wensen Dr. Luís G.A. Barboza (CAPES Foundation, Ministry of Education of Brazil, 70040-020 Brasília, DF, Brazil) en Lisa Devriese (Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO), eenheid Dier-Aquatisch Milieu en Kwaliteit, Oostende, België) te bedanken voor respectievelijk het verschaffen van de ingesloten tabel en de foto's.

REFERENTIES

- Andrady A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62, 1596-1605.
- Andrady A.L., Neal M.A. (2009). Applications and societal benefits of plastic. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1977-1984.
- Avio C.G., Gorbi F., Milan M., Benedetti M., Fattorini D., d'Errico G., Pauletto M., Bargelloni L., Regoli F. (2015). Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental Pollution* 198, 211-222.
- Bakir A., Rowland S.J., Thompson R.C. (2014). Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution* 185, 16-23.
- Barboza L.G.A., Gimenez B.C.G. (2015). Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin* 97, 5-12.
- Barnes D.K.A., (2014). Marine plastic debris and colonization by bryozoans in the South Atlantic. *CIESM Workshop Monographs* 46, 69-77; http://ciesm.org/online/monographs/46/CIESM_Monograph_46_Marine_Plastic_Litter_69_77.pdf.
- Barnes D.K.A., Galgani F., Thompson R.C., Barlaz M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1985-1998.
- Bouwmeester H., Hollman P.C.H., Peters R.J.B. (2015). Potential health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environmental Science & Technology* 49, 8932-8947.
- Browne M.A., Dissanayake A., Galloway T.S., Lowe D.M., Thompson R.C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology* 42, 5026-5031.
- Browne M.A., Galloway T.S., Thompson R.C. (2010). Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology* 44, 3404-3409.
- Carlos de Sá L.C., Luís L.G., Guilhermino L. (2015). Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and

- possible influence of developmental conditions. *Marine Pollution Bulletin* 196, 359-362.
- Claessens M., De Meester S., Van Landuyt L., De Clerck K., Janssen C.R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin* 62, 2199-2204.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62, 2588-2597.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C., Goodhead R., Moger J., Galloway T.S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology* 47, 6646-6655.
- Derraik J.G.B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44, 842-852.
- De Tender C.A., Devriese L., Haegeman A., Maes S., Rutink T., Dawyndt P. (2015). Bacterial community profiling of plastic litter in the Belgian part of the North Sea. *Environmental Science & Technology* 49, 9629-9638.
- Doyle M.J., Watson W., Bowlin N.M., Sheavly, S.B. (2011). Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific Ocean. *Marine Environmental Research* 71, 41-52.
- Endo S., Takizawa R., Okuda K., Takada H., Chiba K., Kanehiro H., Ogi H., Yamashita R., Date T. (2005). Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences. *Marine Pollution Bulletin* 50, 1103-1114.
- FAO (2014). Yearbook 2012. *Fishery and Aquaculture Statistics*. Beschikbaar op: <http://www.fao.org/3/a-i3740t.pdf> (geconsulteerd op 16 april 2016).
- Farrell P., Nelson K. (2013). Trophic level transfer of microplastics: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution* 177, 1-3.
- Fendall L.S., Sewell M.A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin* 58, 1225-1228.
- Gauquie J., Devriese L., Robbens J., De Witte B. (2015). A qualitative screening and quantitative measurement of organic contaminants on different types of marine plastic debris. *Chemosphere* 138, 348-356.
- GESAMP (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment In: Kershaw, P. J. (editor). (IMO/FAO/UNESCO- IOC/UNIDO/ WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- Gouin T., Roche N., Lohmann R., Hodges G. (2011). A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic. *American Chemical Society* 45, 1466-1472.
- Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 2115-2126.
- Ivar do Sul J.A., Costa M.F. (2014). The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution* 185, 352-364.
- Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. (2015). Marine pollution. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771.
- Kenyon K.W., Kridler E. (1969). Laysan Albatross swallow indigestible matter. *Auk* 86, 339-343.
- Keswani A., Oliver D.M., Gutierrez T., Quilliam R.S. (2016). Microbial hitchhikers on marine plastic debris: Human exposure risks at bathing waters and beach environments. *Marine Environmental Research* 118, 10-19.
- Kim J.W., Chang K.H., Isobe T., Tanabe S. (2011). Acute toxicity of benzotriazole ultraviolet stabilizers on freshwater crustacean (*Daphnia pulex*). *The Journal of Toxicological Sciences* 36, 247-251.
- Kirstein I.V., Kirmizi S., Wichels A., Garin-Fernandez A., Erler R., Löder M., Gerds G. (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Marine Environmental Research* 120, 1-8.
- Law K.L., Moret-Ferguson S., Maximenko N.A., Proskorowski G., Peacock E.E., Hafner J., Reddy C.M., (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science* 329, 1185-1188.
- Law K.L., Thompson R.C. (2014). Microplastics in the seas. *Science* 345, 144-145.
- Lin V.S. (2016). Research highlights: impacts of microplastics on plankton. *Environmental Science Processes & Impacts* 18, 160.
- Lusher A.L., Burke A., O'Connor I., Officer R. (2014). Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: Validated and opportunistic sampling. *Marine Pollution Bulletin* 88, 325-333.
- Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science & Technology* 35, 318-324.
- Moore C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* 108, 131-139.
- Moore C.J., Moore S.L., Leecaster M.K., Weisberg S.B. (2001). A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 42, 1297-1300.
- Murray F., Cowie P.R. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine Pollution Bulletin* 62, 1207-1217.
- Napper E., Thompson R.C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin* 112, 39-45.
- Oehlmann J., Schulte-Oehlmann U., Kloas W., Jagnytsch O., Lutz I., Kusk K.O., Wollenberger L., Santos E.M., Paull G.C., Van Look K.J.W., Tyler C.R. (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological* 364, 2047-2062.
- PlasticsEurope (2015). Plastics – the Facts 2015 An analysis of European plastics production, demand and waste data. Beschikbaar vanop: <http://www.plasticseurope.org/> (geconsulteerd op 28 november 2015).
- Rani M., Shim W.J., Han G.M., Jang M., Al-Odaini N.A., Song Y.K., Hong S.H. (2015). Qualitative analysis of additives in plastic marine debris and its new products. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69, 352-366.
- Ricucci D., Siqueira J.F. (2010). Biofilms and apical periodontitis: Study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of Endodontics* 36, 1277-1288.

- Rios L.M., Moore C., Jones P.R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1230-1237.
- Rios L.M., Jones P.R., Moore C., Narayan U.V. (2010). Quantitation of persistent organic pollutants adsorbed on plastic debris from the Northern Pacific Gyre's "eastern garbage patch". *Journal of Environmental Monitoring* 12, 2226-2236.
- Ryan P.G., Moore C.J., van Franeker J.A., Moloney C.L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1999-2012.
- Sivan A. (2011). New perspectives in plastic biodegradation. *Biotechnology* 22, 422-426.
- Soroudi A., Jakubowicz I. (2013). Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review. *European Polymer Journal* 49, 2839-2858.
- Teuten E.L., Saquing J.M., Knappe D.R.U., Barlaz M.A., Jonsson S., Björn A., Rowland S.J., Thompson R.C., Galloway T.S., Yamashita R., Ochi D., Watanuki Y., Moore C., Viet P.H., Tana T.S., Prudente M., Boonyatumanond R., Zakaria M.P., Akkavong K., Ogata Y., Hirai H., Iwasa S., Mizukawa K., Hagino Y., Imamura A., Saha M., Takada H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 2027-2045.
- Thompson R.C., Moore C.J., vom Saal F.S., Swan S.H. (2009b). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 2153-2166.
- 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, 838.
- Thompson R.C., Swan S.H., Moore C.J., vom Saal F.S. (2009a). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1973-1976.
- UNEP (2015). Biodegradable plastics and marine litter. Misconceptions, concerns and impacts on marine environments. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 274pp.
- UNEP (2016). Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi, 38pp.
- Van Cauwenberghe L., Devriese L., Galgani F., Robbins J., Janssen C.R. (2015). Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research* 111, 5-17.
- Van Cauwenberghe L., Janssen C.R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution* 193, 65-70.
- Van Cauwenberghe L., Vanreusel A., Mees J., Janssen C.R. (2013). Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution* 182, 495-499.
- Vethaak A.D., Leslie H.A. (2016). Plastic debris is a human health issue. *Environmental Science & Technology* 50, 6825-6826.
- Watts A.J.R., Urbina M.A., Goodhead R., Moger J., Lewis C., Galloway T.S. (2016). Effect of microplastic on the gills of the shore crab *carcinus maenas*. *Environmental Science & Technology* 50, 6364-6369.
- Weinstein J.E., Crocker B.K., Gray A.D. (2016). From macroplastic to microplastic: Degradation of high density polyethylene, polypropylene, and polystyrene in a salt marsh habitat. *Environmental Toxicology and Chemistry* DOI 10.1002/etc. 3432.
- Wright S.L., Thompson R.C., Galloway T.S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution* 178, 483-492.
- Yang D., Shi H., Li L., Li J., Jabeen K., Kollandhasamy P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental Science & Technology* 49, 13622-13627.
- Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A. (2013). Life in the "plastisphere": Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology* 47, 7137-7146.