

# Microplastics in de Nederlandse zoete wateren

*Ilona Langelaan, Isabel Nuyttens & Marc Jansen*

*I.s.m. en o.l.v. Erwin Roex (Deltares) en Ansje Löhr (Open Universiteit)*

**De Nederlandse zoete wateren raken in toenemende mate vervuild met plastic. De Nederlandse overheid maakt zich steeds meer zorgen over deze vervuiling. Met name de vervuiling met plastic deeltjes kleiner dan 5mm heeft de aandacht wegens de potentiële gevaren voor mens en milieu die aan deze 'microplastics' worden toegeschreven. Er is echter nog maar weinig bekend over de bronnen van deze microplastics en schadelijke effecten in het zoetwatermilieu. Om hier inzicht in te krijgen, werd er in opdracht van Deltares een literatuuronderzoek gedaan door bachelor-studenten Milieu-natuurwetenschappen van de Open Universiteit.**

Plastics zijn door de mens gemaakte kunststoffen, die hoofdzakelijk uit polymeren bestaan [1]. Daarnaast bevat het materiaal veelal additieven ter verbetering van de materiaaleigenschappen, zoals kleur- en vulstoffen, weekmakers, vlamvertragers en stabilisatoren. Verder kunnen plastics residuen uit het productieproces bevatten. Veel plastic producten zijn voor eenmalig gebruik bestemd en worden daarna afgedankt, waarna ze via verschillende routes in het milieu terecht kunnen komen. Afbraak van de plastics in het milieu duurt jaren tot vele honderden of zelfs duizenden jaren. Ook bioplastics kunnen het milieu langdurig vervuilen, want niet alle bioplastics zijn volledig afbreekbaar en de afbraak kan lang duren. Wanneer plastics in het water terechtkomen, kunnen zij gemakkelijk hydrofobe stoffen adsorberen, omdat plastics over het algemeen eveneens hydrofoob zijn [2].

Deskundigen lijken het erover eens te zijn dat twee aanvoerroutes een belangrijke rol spelen in de vervuiling van aquatische systemen met plastics. Verschillende studies [3, 4] wijzen de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) aan als een belangrijke bron van microplastics, de plastics kleiner dan 5mm. De fractie van deze minuscule deeltjes die via het riool bij de in de rwzi's belandt, passeert de verschillende zuiveringsstappen en komt via het effluent in het oppervlaktewater terecht. Daarnaast vermoedt men dat verliezen tijdens het inzamelen, transporteren en storten van afval een niet te verwaarlozen bron van zowel micro- als macroplastics (>5mm) vormen [5]. Dit vermoeden lijkt te worden gesteund door de resultaten van plasticafvalinzamelingen in en bij zoete wateren.

Andere bronnen zijn onder andere bouw, industrie, landbouw, run off van landoppervlakten en riooloverstorten [6, 7].

## **Degradatie van plastics**

In het oppervlaktewater worden twee soorten microplastics aangetroffen: primaire en secundaire. De primaire microplastics zijn van oorsprong al klein, zoals de kleine plastic deeltjes die als scrub- of schuurmiddel in cosmetica en reinigingsproducten worden gebruikt,

of de plastic pellets en poeders die als grondstof voor de thermostatische industrie dienen, de medische microplastics, textielvezels en deeltjes afkomstig van sanitaire artikelen (luiers, hygiëneverbanden en dergelijke). Secundaire microplastics zijn het product van degraderende grotere plastic objecten, de macroplastics.

Wanneer plastic degradeert tot kleinere deeltjes neemt het milieurisico toe omdat kleinere deeltjes makkelijker door organismen worden opgenomen. Uit de literatuur [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] blijkt dat de mate en snelheid van degradatie van macroplastics tot microplastics wordt beïnvloed door intrinsieke factoren als de soort, samenstelling, vorm en dikte van het plastic en daarnaast door extrinsieke factoren als licht, temperatuur, wrijving, chemische agentia en biotische factoren. Eenmaal in het water beland, gaan de macroplastics minuscule barstjes aan het plasticoppervlak vertonen onder de invloed van licht. Daarna zet het fragmentatieproces zich voort door mechanische verwerking. Er ontstaan breuken in het plastic door wrijving met zand, hydrolyse of temperatuursveranderingen, waarna microplastics vrijkomen in het zoetwatermilieu. Ook vindt er microbiële degradatie plaats [16], wat uiteindelijk kan leiden tot sanering ('remediatie') van het plastic. Microbiële degradatie van polymeren verloopt in in twee stappen:

- 1) depolymerisatie, waarbij micro-organismen (middels extracellulaire enzymen) de interne verbindingen in de polymeerketting en/of terminale monomeren in de polymeerketting doorknippen, zodat kleinere oligomere of monomere fragmenten ontstaan. Deze kleinere fragmenten worden vervolgens door de microbiële cel opgenomen
- 2) demineralisatie: het micro-organisme gebruikt de fragmenten als koolstof- of energiebron. Zo wordt het materiaal uiteindelijk gemineraliseerd. Dit kan leiden tot volledige sanering ('remediatie') van het plastic.

Micro-organismen kunnen een biofilm vormen op het plastic-oppervlak. Daarnaast kunnen macro-organismen zich vastzetten op het plastic (biofouling) [8,17]. Ook degradatie van plastic door macro-organismen is mogelijk, wanneer de plastics gegeten en (deels) verteerd worden. Dit proces is al aangetoond bij zeeschildpadden.

De totale afbraak van plastics neemt op het land duizenden jaren in beslag. In water verloopt het degradatieproces van plastics nog trager, omdat het water de voor het afbraakproces benodigde warmte voor een groot deel absorbeert [8, 9, 18]. Verder verloopt het degradatieproces in zoet water trager dan in zout water, doordat er in zoet water minder vasthechtende organismen – zoals mosselen – voorkomen dan in het mariene milieu [8]. Wel is het zo dat in het zoetwatermilieu meer mechanische verwerking plaatsvindt dan in het mariene milieu, door de sterkere fysische werking van de waterstroming. De mechanische afbraak is in rivieren groter dan in meren door de hogere stroomsnelheid.

### **Impact van (micro)plastic op mens en milieu**

Wanneer aquatische organismen plastics consumeren, kan dit tot diverse schadelijke effecten voor het organisme leiden. Mogelijke gevolgen zijn verstopping en beschadigingen van het maag-darmkanaal, waarna sterfte optreedt [8]. Plastics in de ingewanden kunnen er ook voor

zorgen dat de dichtheid van het organisme verlaagd wordt, waardoor mesopelagische vissen moeilijker kunnen dalen naar grotere diepten [19]. Verder kan blootstelling aan plastic deeltjes en aan chemicaliën geassocieerd aan plastic leiden tot gedragsveranderingen, zoals verminderde activiteit en mobiliteit. Daarnaast kunnen er biologische effecten optreden, zoals vermindering van vetopslag, het blokkeren van enzymsecretie ter hoogte van de darmen en neurologische aandoeningen. Ook reproductieve effecten als uitstel van de ovulatie, inhibitie van de groei en vertraagde maturiteit behoren tot de mogelijkheden. Tevens zijn er bij organismen weefselveranderingen en ontstekingsreacties, veroorzaakt door de inname van microplastics, waargenomen. De allerkleinste microplastics, de nanoplastics, hebben dezelfde grootteorde als virussen en kunnen de cel binnendringen via fagocytose, met mogelijk schadelijke effecten op celniveau tot gevolg [20].

Plastics kunnen meerdere potentieel schadelijke chemicaliën bevatten, zoals bisfenol A, vinylchloride en styreen, ftalaten (weekmakers) en gebromeerde vlamvertragers. Daarnaast kunnen hydrofobe stoffen, waaronder polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), polychloorbifenylen (PCB's) en dioxines/furanen in een waterig milieu gemakkelijk adsorberen aan de eveneens hydrofobe plastics [21]. Sommige stoffen, zoals nonylfenol en zware metalen, kunnen zowel via additieven als via adsorptie vanuit het milieu in plastics terechtkomen. Hoewel metaalionen en veel metaalverbindingen niet hydrofoob zijn, blijken zij toch te kunnen binden aan plastics. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door veranderingen aan het plasticoppervlak als gevolg van degradatieprocessen, en door de vorming van metaalbindende biofilms [22, 23].

Al deze toxische stoffen, die in verband gebracht worden met hormoonverstorende of carcinogene effecten, kunnen in een later stadium mogelijk weer vrijkomen uit plastics. Verschillende onderzoeken wijzen op de mogelijkheid dat plastics de negatieve effecten versterken van vrij in het milieu voorkomende chemicaliën, door chemicaliën in het oppervlaktewater te transporteren naar en in organismen. In het organisme kunnen deze schadelijke chemicaliën weer uit de plastics vrijkomen [24, 25, 26, 27].

Microplastics kunnen in het organisme accumuleren, zoals al aangetoond is bij mosselen [28]. Het gevaar bij ophoping (bioaccumulatie) van microplastics in organismen van lagere trofische niveaus is dat biomagnificatie kan optreden. Dat wil zeggen dat de concentratie van persistente stoffen in het organisme stapsgewijs toeneemt naarmate hogerop in de voedselketen wordt gekeken. Dit geldt ook voor de aan plastics geadsorbeerde chemicaliën. Wanneer de mens een met microplastics vervuild organisme consumeert, kunnen deze plastic deeltjes ook de mens treffen en zijn gezondheid negatief beïnvloeden. Hoe groot dit risico is, is onzeker – vooral voor het zoetwatermilieu – omdat er maar weinig kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn over microplastics in zoetwaterorganismen. Echter, een onderzoek bij zoetwatervissen (*Gobio gobio*) in Franse rivieren wees uit dat 12% van deze vissen met microplastics gecontamineerd was [30].

## Concentraties en emissies van chemicaliën

Er zijn maar weinig structurele gegevens – zoals concentraties – over aan plastics gerelateerde chemicaliën in het Nederlandse zoetwatermilieu. Dit betekent niet dat deze stoffen niet in het milieu voorkomen. Tabel 1 toont emissiegegevens van enkele chemicaliën voor het jaar 2011 [31]. Deze cijfers zijn deels gebaseerd op meetgegevens, deels op schattingen.

**Tabel 1. Geregistreerde emissies van chemicaliën naar het Nederlandse oppervlaktewater (2011). (Bron: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, n.d.)**

Stof	Aantal geregistreerde emissies totaal	Belasting water totaal (kg)	Belasting water via rwzi's (kg)	Belasting water (totaal minus rwzi's, kg)
Acrylonitril	1	0	-	--
Bisfenol A (BPA)	8282	25	22	3
Bis(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP)	8302	709	602	107
Dibutylftalaat (DBP)	8281	697	679	18
Ftalaten (totaal)	8320	24292	23994	298
Gebromeerde difenylethers (PBDE)	10814	47	10	37
Nonylfenol/ethoxylaten (Np/Npe)*	15182	1376	177	1199
Styreen	3555	13	11	2
Vinylchloride	1	0	-	--

\* Voor nonylfenol zijn alleen emissiegegevens inclusief de ethoxylaten beschikbaar

(Zwerf)plastics in het aquatische milieu worden in de Emissieregistratie echter niet als bron (emissieoorzaak) meegerekend omdat er voor dergelijke berekeningen (nog) te weinig gegevens beschikbaar zijn. Dit leidt mogelijk tot een onderschatting van de werkelijke belasting van het oppervlaktewater.

Voor ons onderzoek is een ruwe schatting gemaakt van de hoeveelheden aan additieven die via plastic zwerfafval in het Nederlandse milieu terechtkomen. Hierbij zijn gegevens uit een Zweeds rapport [32] gebruikt om via extrapolatie de emissies van plastic zwerfafval in Nederland te berekenen. Wanneer ervan uit wordt gegaan dat er per jaar maximaal 300 miljoen kilogram aan zwerfafval in het Nederlandse milieu terechtkomt en dat het aandeel plastic in dit zwerfafval vergelijkbaar is met het aandeel plastic in huishoudelijk restafval (13%) dan komen onder andere de volgende jaarlijkse vrachten voor het Nederlandse milieu naar voren (tabel 2).

**Tabel 2. Geschatte emissie van enkele chemicaliën (additieven) vanuit zwerfplastic naar het Nederlandse oppervlaktewater**

Dibutylftalaat (DBP):	1193 kg/jaar
Bis(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP):	947 kg/jaar
Pentabromodifenylether:	838 kg/jaar
Bisfenol A:	452kg/jaar

Deze cijfers geven slechts een indicatie van de emissies uit plastic zwerfafval van enkele bekende additieven, maar plastic zwerfafval kan veel meer soorten additieven bevatten. Uit het Zweedse onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat plastic materialen in totaliteit gemiddeld 15% (massa) aan additieven bevatten (dit is het gemiddelde voor plastics van verschillende leeftijden), en dat per jaar ongeveer 2% van deze additieven wordt geëmitteerd. Dit zou kunnen betekenen dat er via Nederlands plastic zwerfafval in totaal circa 117.000 kg/jaar aan additieven vrijkomt in het milieu. Bij deze schattingen wordt uitgegaan van de theoretische situatie dat het plastic zwerfafval voor de duur van een jaar in het Nederlandse milieu verblijft. Er wordt dus geen rekening gehouden met het eventueel sneller (binnen het jaar) opruimen van plastic zwerfafval. Daar staat tegenover dat ook de gevolgen van accumulatie van plastic in het milieu door de jaren heen, en van de afbraak van plastic, buiten beschouwing blijven. Hierdoor is zowel een overschatting als een onderschatting van de emissies mogelijk.

De geschatte waarden gelden voor emissies uit plastic zwerfafval naar het gehele Nederlandse milieu, dus niet naar het oppervlaktewater alleen. Het relatieve aandeel van plastic afval als emissiebron voor het water zou het aandeel van andere emissiebronnen vrij gemakkelijk kunnen overtreffen. Vergelijk bijvoorbeeld de geschatte emissies uit plastic zwerfafval (tabel 2) met de geregistreerde emissies uit overige bronnen (totale belasting minus rwzi's) in tabel 1). Voor bisfenol A en de gebromeerde difenylethers zijn de emissies uit plastic afval mogelijk zelfs groter dan de totale belasting van geregistreerde emissies van deze stoffen. Van belang is ook dat plastic zwerfafval afkomstig uit het buitenland (bijvoorbeeld getransporteerd via rivieren) niet is meegerekend. Dit buitenlandse afval belast het Nederlandse oppervlaktewater nog eens extra. Geconcludeerd kan daarom worden dat emissies uit plastics in het zoetwatermilieu waarschijnlijk relevant zijn wanneer men deze vergelijkt met andere emissiebronnen.

Het voorgaande maakt duidelijk dat plastics een nadelige invloed hebben op de waterkwaliteit van de zoete oppervlaktewateren. Dit kan schadelijke gevolgen hebben voor zoetwaterorganismen en organismen die zich hiermee voeden, waaronder de mens.

### **Visie op beleid en vervolgonderzoek**

Plastics worden in de Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie als milieugevaarlijk beschouwd, maar regelgeving voor de zoete wateren ontbreekt nog; dit terwijl naar schatting 80% van het plastic afval in het mariene milieu (via de rivieren) afkomstig is van landbronnen. Beleid met betrekking tot (micro)plastics zou grensoverschrijdend moeten zijn, daar de grote rivieren dit ook zijn. Verder zou het beleid voor de zoete wateren zou zich niet alleen moeten concentreren op microplastics. Microplastics kunnen immers ook ontstaan uit macroplastics. Macroplastics laten zich bovendien makkelijker saneren dan microplastics, deels omdat microplastics accumuleren in organismen en sedimenten. Het is dan ook van belang dat er maatregelen genomen worden ter reductie van de hoeveelheid macroplastic zwerfafval. Afvalpreventie is daar onderdeel van.

Om de mate van vervuiling – en daarmee ook van de effectiviteit van maatregelen ter beperking en ter voorkoming van de vervuiling – met (micro)plastics te kunnen bepalen, is het

aan te bevelen om een compleet monitoringssysteem met toestand- en trendmonitoring in te richten. Daarvoor zijn een uniform en internationaal meet- en classificatiesysteem en milieunormen voor (micro)plastics nodig. Ook de concentraties van bisfenol A, gebromeerde vlamvertragers (BFR's), ftalaten en nonylfenol (NP) in de rijkswateren moeten beter dan nu gemonitord worden. Monitoringsstrategieën voor (micro)plastics verdienen een andere aanpak dan gangbaar is. Zo dient bij het bepalen van meetmethode, meetplaats en meetmoment rekening gehouden te worden met stroming, turbulentie, waterstanden, wind, meandering en obstakels in de watergang, en met de beperkingen van de meetmethoden. Resultaten van de metingen kunnen input leveren voor de formulering van beleidsmaatregelen.

Vervolgonderzoek kan uitwijzen wat de verdeling is tussen het aandeel primaire en secundaire microplastics in het zoete water, en geeft daarmee inzicht in het belang van de verschillende bronnen. Ook onderzoek naar emissies uit industriële bronnen draagt aan dit inzicht bij. Gegevens over de industrieën uit de stroomgebiedsbeheerplannen en het bedrijvenregister van de Federatie Nederlandse Rubber- en Kunststofindustrie (NRK) kunnen aanknopingspunten bieden ter identificatie van industriële bronnen.

Met betrekking tot de degradatie van plastics dient per polymeertype vervolgonderzoek verricht te worden naar de aard en het belang van de degradatieprocessen en invloedsfactoren specifiek voor het zoetwatermilieu. Daarnaast is het van belang meer inzicht te krijgen in de gezondheidseffecten van microplastics en de daaraan gerelateerde chemicaliën. Het valt ook aan te bevelen om te onderzoeken in welke mate hydrofobe chemicaliën en zware metalen binden aan plastics in het Nederlandse (zoete) oppervlaktewater. Tevens is het van belang inzicht te krijgen in welke zoetwaterorganismen in het Nederlandse milieu microplastics opnemen en naar bioaccumulatie in deze organismen. Ook dient er aandacht besteed te worden aan het in kaart brengen van mogelijke blootstellingsroutes voor de mens via consumptie van zoetwaterorganismen.

### **Conclusies**

(Micro)plastics in de Nederlandse zoete wateren hebben een negatieve impact op mens en milieu. De Nederlandse overheid moet gaan sturen op het voorkomen van deze vervuiling. Om effectieve beleidsmaatregelen te kunnen nemen is vervolgonderzoek nodig.

### **Literatuur**

1. Kutz, M. (ed.). (2011). *Applied plastics engineering handbook. Processing and materials*. Elsevier/William Andrew.
2. Lee, H., Shim, W.J. & Kwon, J-H. (2013). Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals. *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.08.023
3. Habib, D., Locke, D.C. & Cannone, L.J. (1996). Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. *Water, Air & Soil Pollution* 103(1-4), 1.
4. Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, T.G. & Thompson, R. (2011).

- Accumulation of microplastics on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science and Technology* 45, 9175-9179. doi: 10.1021/es201811s
5. yan, 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* 364, 1999-2012. doi: 10.1098/rstb.2008.0207
  6. Klemchuk, P.P. (1990). Degradable plastics: a critical review. *Polymer Degradation and Stability* 27(2). 183–202. doi: 10.1016/0141-3910(90)90108-J
  7. Roex, E., Vethaak, D, Leslie, H. & De Kreuk, M. (2014). *Microplastics in het zoetwater milieu: een inventarisatie van mogelijke risico's voor waterschappen*. Delft: Deltares, Instituut voor Milieuvraagstukken, TU Delft.
  8. Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62, 1596-1605. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030
  9. Sivan, A. (2011). New perspectives in plastic biodegradation. *Current Opinion in Biotechnology* 22(3), 422-426. doi: 10.1016/j.copbio.2011.01.013
  10. Wellfair, S.T. (2008). Testing the degradation rates of degradable, non-degradable and bio-degradable plastics within simulated marine environments. *The Plymouth Student Scientist* 1(2), 243-301.
  11. Gorycka, M. (2009). *Environmental risks of microplastics. Research project*. Amsterdam: Vrije Universiteit.
  12. Hammer, J., Kraak, M.H.S. & Parsons, J.R. (2012). *Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift*. Amsterdam: Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics.
  13. Artham, T. & Doble, M. (2012). Bisphenol A and metabolites released by biodegradation of polycarbonate in seawater. *Environmental Chemistry Letters* 10, 29–34. doi: 10.1007/s10311-011-0324-4
  14. Artham, T., Sudhakar, M., Venkatesan, R., Madhavan Nair, C., Murty, K.V.G.K. & Doble, M. (2009). Biofouling and stability of synthetic polymers in sea water. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63, 884–890. doi: 10.1016/j.ibiod.2009.03.003
  15. Andrady, A.L., Pegram, J.E. & Nakatsuka, S. (1993). Studies on enhanced degradable plastics: 1. The geographic variability in outdoor lifetimes of enhanced photodegradable polyethylenes. *Journal of Environmental Polymer Degradation* 1(1), 31-43. doi: 10.1007/BF01457651
  16. Van der Zee, M. (2011). Analytical methods for monitoring biodegradation processes of environmentally degradable polymers. In A. Lendlein & A. Sisson (eds.), *Handbook of biodegradable polymers: isolation, synthesis, characterization and applications*, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. doi: 10.1002/9783527635818.ch11
  17. Muthukumar, T., Aravinthan, A., Lakshmi, K., Venkatesan, R., Vedaprakash, L. & Doble, M. (2011). Fouling and stability of polymers and composites in marine environment. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65, 276-284. doi: 10.1016/j.ibiod.2010.11.012
  18. Gorycka, M. (2009). *Environmental risks of microplastics. Research project*. Amsterdam: Vrije Universiteit.
  19. Boerger, C.M., Lattin, G.L., Moore, S.L. & Moore, C.J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 60,

- 2275-2278. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.08.007
20. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. & Galloway, T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin* 62(12), 2588–2597. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025
  21. Engler, R.E. (2012). The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. *Environmental Science and Technology* 46, 12302-12315. doi: 10.1021/es3027105
  22. Fotopoulou, K.N. & Karapanagioti, H.K. (2012). Surface properties of beached plastic pellets. *Marine Environmental Research* 81, 70-77. doi: 10.1016/j.marenvres.2012.08.010
  23. Holmes, L.A. (2013). *Interactions of trace metals with plastic production pellets in the marine environment*. Doctoral dissertation. University of Plymouth.
  24. Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Björn, A., ... Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364, 2027-2045. doi: 10.1098/rstb.2008.0284
  25. Zarfl, C. & Matthies, M. (2010). Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Marine Pollution Bulletin* 60, 1810-1814. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.05.026
  26. Gassel, M., Harwani, S., Park, J-S. & Jahn, A. (2013). Detection of nonylphenol and persistent organic pollutants in fish from the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 73, 231-242. doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.05.014
  27. Rochman, C.M., Lewison, R.L., Eriksen, M., Allen, H., Cook, A. & Teh, S.J. (2014). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats. *Science of the Total Environment* 476-477, 622-633. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.058
  28. Van Cauwenberghe, L. (2012). *Selective uptake of microplastics by a marine bivalve (Mytilus edulis)*. Geraadpleegd op 23 maart 2014 via <http://www.vliz.be/docs/events/JCD/2012/VanCauwenberghe.pdf>
  29. European Commission. (n.d.). *Through the gyre*. Geraadpleegd op 18 maart 2014 via [http://ec.europa.eu/environment/marine/pdf/through\\_gyre.pdf](http://ec.europa.eu/environment/marine/pdf/through_gyre.pdf)
  30. Sanchez, W., Bender, C. & Porcher, J. (2014). Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: preliminary study and first evidence. *Environmental Research* 128, 98-100. doi: 10.1016/j.envres.2013.11.004
  31. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (n.d.). *Emmissieregistratie*. Geraadpleegd op 23 maart 2014 via <http://www.emissieregistratie.nl/>
  32. Westerdahl, J., Andersson, P., Fuhrman, F., Haglund, P., Hallberg, E., Holmgren, T., ... Öman, A. (2010). *National inventory of emissions of additives from plastic materials*. Göteborg: ChEmiTecs.