

Mikroplastik in der Umwelt Infoblatt

Die Verschmutzung der Umwelt durch Plastikmaterialien nimmt immer grössere Ausmasse an. Weltweit wird heute die 170-fache Menge an Plastik produziert wie noch vor 60 Jahren – insgesamt 288 Millionen Tonnen pro Jahr [1]. Abschätzungen zufolge gelangen bis zu 10% dieses Plastiks in die Ozeane, wo es sich ansammelt und kaum abgebaut wird [2]. In der letzten Zeit richtete sich die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit vermehrt auf Mikroplastik(MP)-Partikel – Plastikpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 5 mm [3,4]. Diese sind zwar weniger auffällig als die im Ozean treibenden grösseren Plastikteile, aber genauso besorgniserregend, da sie wegen ihrer geringeren Grösse auch von kleineren Organismen aufgenommen und in der Nahrungskette weitergegeben werden können. Medienberichte über das Vorkommen von Mikroplastikpartikeln in Honig und Mineralwasser machten deutlich, dass auch Lebensmittel mit diesen kaum sichtbaren Partikeln belastet sein können.

Was ist Mikroplastik?

Plastik besteht aus synthetischen, organischen Polymeren, die durch die Polymerisation von aus Öl oder Gas extrahierten Monomeren hergestellt wurden: Die Tabelle gibt eine Übersicht über die wichtigsten Materialien. Mikroplastik-Partikel sind Plastikpartikel mit einer Grösse von weniger als 5 mm. Je nach Entstehung unterscheidet man zwischen zwei Typen von MP. **Primäres MP** wurde bereits als Mikropartikel hergestellt. Dazu zählen zum Beispiel MP-Partikel in zahlreichen Kosmetik- und Hygieneprodukten: Die Partikel werden Peelings, Duschgels oder Zahnpasta als Schleifmittel zugegeben, um eine reinigende Wirkung zu erreichen. Ausserdem wird primäres MP als Sandersatz beim Sandstrahlen verwendet und dient als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Plastikprodukten (Pre-Production-Pellets). **Sekundäres MP** entsteht dagegen durch die Verwitterung grösserer Plastikteile. Besonders Sonneneinstrahlung und mechanische Belastung sorgen dafür, dass Plastikteile in der Umwelt in immer kleinere Fragmente zerlegt werden.

Mikroplastik im Meer und in Oberflächengewässern

Bis jetzt weiss man am meisten über das Vorkommen von MP-Partikeln in Ozeanen. Nach neueren Abschätzungen treiben im Meer weltweit mehr als 250'000 Tonnen Plastik [5], davon mehr als 21'000 Tonnen MP [6]. Plastikabfall ist sehr mobil und wird überall gefunden, auch in den Polregionen und der Tiefsee. Besonders die grossen Ozeanwirbel sammeln grosse Mengen schwimmfähigen Plastikabfall an, während sich schwerere Plastikpartikel auf dem Meeresboden anreichern. Eine neue Studie analysierte Proben von 12 Probenahmestellen im Atlantik, dem Mittelmeer und dem Indischen Ozean und kommt zu dem Schluss, dass der Meeresboden als wichtige Senke für MP-Partikel dient [7]. In Europa wurde MP in der Ostsee, der Nordsee und dem Mittelmeer nachgewiesen. In einer Nordseebuchten fanden deutsche Wissenschaftler durchschnittlich 150 MP-Partikel pro Liter Wasser [8].

Eine belgische Studie fand bis zu 400 MP-Partikel pro Kilo Hafensediment [9], eine holländische Studie 3300 Partikel pro Kilo Sediment in der Rheinmündung [10].

Über Süsswassersysteme ist bisher weniger bekannt. MP-Partikel wurden auf der Oberfläche und entlang der Küsten der Grossen Seen der USA nachgewiesen [11,12]. An zwei Stränden des Gardasees in Italien fanden Wissenschaftler 100 bzw. 1100 MP-Partikel pro m² [13]. Ähnlich wie in den Grossen Seen handelte es sich hierbei besonders um Polystyrol, Polyethylen und Polypropylen, aber auch Polyamid und Polyvinylchlorid. Am Genfersee konnten Wissenschaftler der EPFL ebenfalls MP-Partikel an den Stränden und im Wasserkörper nachweisen [14]. In einer ersten Bestandsaufnahme der Schweizer Gewässer, namentlich Genfersee, Bodensee, Neuenburgersee, Langensee, Brienersee, Zürichsee und Rhone, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt fanden die EPFL-Forschenden in den meisten Proben MP-Partikel im Durchschnitt in einer Menge von 91'000 Partikeln/km² Seeoberfläche oder 1300 Partikeln/m² Strand [15]. Am häufigsten vertreten waren Polyethylenpartikel, gefolgt von Polypropylen und Polystyrolpartikeln.

Geschätzte 10 kg MP pro Tag werden durch die Rhone nach Frankreich transportiert. Es sei aber in der Schweiz keine unmittelbare Gefährdung der Umwelt und der menschlichen Gesundheit zu erwarten, schlossen die Wissenschaftler. Flüsse transportieren allgemein grössere Mengen an MP-Partikeln und tragen so zur Plastikverschmutzung der Meere bei. In der Donau wiesen Wissenschaftler - gemittelt über 2 Jahre und bezogen auf die Masse - mehr kleine Plastikpartikel < 5 cm als Fischlarven nach und schätzten, dass die Donau so täglich über 4 Tonnen Plastik ins Schwarze Meer transportiert [16]. In der Themse wurden an allen 10 untersuchten Stellen im Sediment MP-Partikel in Konzentrationen bis zu 800 Partikel/L Sediment gefunden. Die Zahl der MP-Partikel korrelierte mit der Dichte der Abwasserreinigungsanlagen (ARA) und Regenwasserüberläufe [17].

Herkunft von Mikroplastik

Der grösste Teil des Plastiks im Ozean stammt aus dem Binnenland und gelangt direkt oder über Flüsse ins Meer [18]. Dieser Plastikinput, der hauptsächlich durch eine unsachgemässe Abfallentsorgung verursacht wird, wird in den nächsten 10 Jahren weltweit voraussichtlich um das Zehnfache ansteigen [19]. Als potentielle Quellen für hauptsächlich sekundäres MP dienen das Wegwerfen oder das nicht beabsichtigte Verlieren oder Verwehen von Abfall, ausserdem Deponien und Quellen aus der Industrie: Ein Beispiel hierfür ist die sandfreie Sandstrahlung zur Farbentfernung von Metalloberflächen und zur Reinigung von Maschinenteilen, bei der mikroskopische kleine Plastikpartikel verwendet werden. Eine weitere Quelle hauptsächlich für primäres MP sind Abwasserreinigungsanlagen (ARA). MP aus Kosmetikprodukten und der Industrie können nämlich über kommunales oder industrielles Abwasser in Gewässer gelangen, machten allerdings in der Schweizer Bestandsaufnahme nur einen kleineren Anteil

des gefundenen MP aus (Partikelanzahl: unter 6 %; Partikelgewicht: unter 12%, in der Rhone bis 34%) [15]. Beim Waschen von Kleidung aus Kunstfasern werden ebenfalls MP-Fasern abgelöst und in die ARA weitergeleitet. ARA halten zwar in Oxidationsteichen, Klärschlammbecken und Filtern Makroplastik und einen Teil der MP-Partikel zurück, doch ein Teil des MP passiert diese Systeme und gelangt in den Ablauf.

Der Regenwasserablauf von urbanen und Industriegebieten kann ebenfalls als Quelle für Plastik dienen. Eine weitere potentielle Quelle ist die Landwirtschaft: Zum Abdecken von Pflanzen, Boden oder Silage werden Polyethylenfolien eingesetzt, die bei Verwitterung MP-Partikel freisetzen. Ein Teil der MP-Partikel stammt auch aus dem Abfall aus Tourismus und Freizeitaktivitäten, der an Stränden und in Küstenregionen anfällt, von weggeworfenen Fischereiausrüstungen, Transportschiffen und Häfen. Direkte Quellen für den Ozean stellen zum Beispiel verlorene oder weggeworfene Gegenstände von Fischereifahrzeugen, Öl- oder Gasplattformen, und Abfall dar, der von Hobby-Bootsbesitzern weggeworfen wurde. Manchmal wird auch Ladung von Frachtschiffen im Meer verloren

Identifikation und Quantifizierung von Mikroplastikpartikeln

In der Vergangenheit wurden zahlreiche unterschiedliche Ansätze verwendet, um MP zu identifizieren und zu quantifizieren. MP-Partikel kommen in verschiedenen Grössen, Farben, Dichten und chemischen Zusammensetzungen vor. Die meisten MP-Proben aus Sediment werden an der Hochwasserlinie von sandigen Stränden gesammelt und die meisten MP-Proben aus Meer- oder Seewasser an der Oberfläche mit feinen Schleppnetzen genommen. Die Proben werden durch Dichtentrennung, Filtration, Sieben oder Sortieren aufgetrennt. Man unterscheidet zwischen Fragmenten, Fasern, Pellet und Folie. Eine der am häufigsten eingesetzten Methoden für die Identifizierung und Quantifizierung von MP ist das visuelle Sortieren und Zählen nach Typ, Form und Farbe mit Hilfe eines Mikroskops, ausserdem werden die chemischen und physikalischen Eigenschaften genutzt (z.B. spezifische Dichte).

Die verlässlichste Methode zur Identifizierung von MP-Partikeln und zur Bestimmung ihrer chemischen Zusammensetzung ist die Infrarotspektroskopie mit Hilfe von FT-IR (Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie) oder Raman Spektroskopie [20]. Mit Hilfe von FT-IR werden in einer Probe deutlich mehr MP Partikel gezählt als mit dem Mikroskop – dies, weil es bei kleinen Partikeln mit einer Grösse < 1 mm mit dem Mikroskop schwierig ist, zwischen Plastik- und Nicht-Plastik-Partikeln zu unterscheiden. Besonders weisse oder transparente MP-Partikel werde oft nicht als solche erkannt. Es ist allerdings auch wesentlich zeitaufwendiger, MP-Partikel mit Hilfe von FT-IR zu quantifizieren als mit Mikroskopie. MP-Partikel mit einer Grösse < 20 µm können nicht mehr mit FT-IR gemessen werden. Mit Raman-Spektroskopie können MP-Partikel bis zu einer Grösse von 1-2 µm gemessen werden, doch es gibt nur wenige Instrumente, die Nanoplastik in komplexen Feldproben analysieren können.

Abbau von Mikroplastik in der Umwelt

In der Umwelt werden Makro- und Mikroplastikpartikel durch das Zusammenspiel von abiotischen und biotischen Faktoren in kleinere Partikel zersetzt. Der komplette Abbau geschieht allerdings so langsam, dass die meisten Plastikmaterialien als persistent gelten. Abiotische Prozesse dienen als wichtiger erster Schritt im Abbau von

Plastikmaterialien, da sie zum Verlust von mechanischen Eigenschaften und strukturellen Änderungen in den molekularen Bindungen führen. Die Polymermatrix bricht dabei auseinander, es entstehen Partikelfragmente verschiedener Grössen und Zusatzstoffe werden freigesetzt.

Unter Umweltbedingungen ist Photolyse eine der Hauptursachen für den Plastikabbau. Durch Kettenaufspaltung und Vernetzungsreaktionen werden die Materialien dabei spröde und instabil. Die Zusammensetzung beeinflusst, wie leicht photoabbaubar die Plastikmaterialien sind. Ausserdem wird die Plastikstruktur durch hohe Temperatur, Oxidation, Hydrolyse und mechanisch durch Scherkräfte zerstört. Die Geschwindigkeit und der Grad des Abbaus hängen stark von den Polymereigenschaften ab: Polymere mit Esterbindungen (z.B. Polyurethan) können durch Abbauproteine oder Enzyme, Esterasen, angegriffen werden. Die Polymerzusammensetzung beeinflusst über die wasserabstossenden Eigenschaften der Oberfläche auch die Anheftung von Mikroorganismen, die den Abbau des MP vorantreiben. Die Zusammensetzung und Komplexität der Polymerstruktur bestimmt damit die biologische Zersetzung. Plastiktypen mit kurzen und sich regelmässig wiederholenden Einheiten, hoher Symmetrie und starken Wasserstoffbindungen (z.B. PE, PP, PET) sind für Enzyme weniger zugänglich und daher stabiler. Erst wenn die Molekülgrösse ausreichend klein ist, so dass wasserlösliche Monomere und Oligomere freigesetzt werden, kann die Mineralisation durch Mikroorganismen beginnen.

Wirkung von Mikroplastik auf Organismen

Grössere Plastikpartikel können von Tieren für Nahrung gehalten und in den Verdauungstrakt aufgenommen werden. Dort können sie zu Abschürfungen, Geschwüren und dem Verstopfen des Verdauungstraktes führen, und schliesslich zu Scheinsättigung, Verhungern und körperlichem Zerfall. Weniger ist darüber bekannt, wie MP-Partikel auf Lebewesen wirken. Die erwähnten schädlichen Effekte treten wahrscheinlich auch bei kleineren Tieren auf, die Mikroplastik mit oder anstelle von Nahrung aufnehmen. Im Labor wurde gezeigt, dass viele Wasserlebewesen MP-Partikel aufnehmen können, darunter Zooplankton, Würmer, Muscheln, Schnecken, Krebse und Fische [12,21]. Im Magen von 12% der Gründlinge, kleiner Karpfenfische, in 11 verschiedenen Flüssen in Frankreich wurde MP gefunden [22]. In Miesmuscheln wird MP vom Verdauungstrakt ins umliegende Gewebe aufgenommen [23]. Daneben reduziert das MP die Filteraktivität von Muscheln [24], vermindert die Nahrungsaufnahme bei marinen Zooplanktonorganismen [25], und erhöht die Sterblichkeit und erniedrigt die Fortpflanzung von marinen Ruderfusskrebse [26].

Verschiedene Biomarker, die bei Fischen zum Nachweis von toxischen Substanzen eingesetzt werden, zeigten auch mit MP positive Resultate. [27]. In den meisten Laborexperimenten wurden allerdings MP-Konzentrationen eingesetzt, die eher grösser sind als typische Umweltkonzentrationen. Es gibt allerdings nur wenig publizierte Daten zu Umweltkonzentrationen, und die Vielfalt von Partikelarten und -grössen macht es wie die unterschiedlichen verwendeten Masseinheiten schwierig, einzelne Studien zu vergleichen. MP kann in der Nahrungskette von Meso- zu Makrozooplankton [28] und von Muscheln zu Krabben transferiert werden [29]. Über die toxikologischen Effekte auf Süswasserorganismen ist bis jetzt nur wenig bekannt.

Wegen ihres grossen Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen und wegen ihrer chemischen Zusammensetzung

zung sorbieren MP-Partikel Wasserschadstoffe wie Metalle und persistente organische Schadstoffe (POPs). Dies konnte zum Beispiel für polychlorierte Biphenyle (PCBs), DDT und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs) gezeigt werden. So stellen MP-Partikel eine neue Aufnahmeroute für diese Chemikalien für Lebewesen dar. Wenn Fische MP-Partikel aufnehmen, die zuvor im Meer komplexen Schadstoffen wie PAHs, PCBs und PBDEs ausgesetzt waren, übertragen diese die Schadstoffe auf die Fische, wo sie sich anreichern und zu Lebertoxizität und Stress führen können [30]. Ausserdem enthält Plastik bedenkliche Zusatzstoffe wie zum Beispiel Nonylphenol, Bisphenol A und Phthalate, die als hormonaktive Stoffe

bekannt sind, PBDEs (Erhöhung der Hitzestabilität) und Triclosan (Schutz gegen mikrobiellen Abbau). Wattwürmer die im Laborversuch MP assen, reicherten genügend grosse Mengen an Schadstoffen und Zusatzstoffen an, um ihr Überleben (Triclosan), ihre Nahrungsaufnahme (Triclosan und PBDE) und ihre Immunität (Nonylphenol) zu verringern [31]. In der EPFL Studie war die errechnete MP-Konzentration allerdings deutlich kleiner als die Konzentration der natürlichen Schwebstoffe mit ähnlichen Sorptionseigenschaften, so dass davon ausgegangen werden kann, dass der Schadstofftransport durch MP in den Schweizer Flüssen und Seen von untergeordneter Wichtigkeit ist.

Tabelle: Polymertypen und ihre Anwendung (aus [32])

Polymertyp	Anwendung
Polyethylen (PE)	Geringe Dichte: Flaschen, Spielzeug, Tragetaschen, Müllbeutel, Beschichtungen, Verpackungen, Gas- und Wasserrohre Hohe Dichte: Spielzeug, Haushalts- und Küchenartikel, Kabelisolation, Tragetaschen, Lebensmittelverpackungen
Polypropylen (PP)	Lebensmittelbehälter, Autoindustrie
Polyvinylchlorid (PVC)	Gebäude, Transport, Verpackungsmaterial, Elektronik- und Gesundheitsanwendungen
Polyethylenterephthalat (PET)	Getränkeflaschen, backofenfesten Menüschilden
Polystyrol (PS)	Lebensmittelverpackungen, Verpackungen von Takeaway-Mahlzeiten, Automatenbecher, Plastikbesteck, CD Hüllen
Polyurethane (PUR)	Druckerrollen, Reifen, Schuhsohlen, Stossstangen, Matratzen, Autositze, biomedizinische Anwendungen
Polycarbonat (PC)	Flaschen, Behälter, Elektrogeräte, medizinische Anwendungen
Polymethylpenten (PMP)	Medizinisches Zubehör, Spritzen, Lampenschirme, Radaranwendungen, mikrowelleneignete Lebensmittelverpackungen
Polytetrafluoroethylen (PTFE)	Antihafbeschichtungen, Dichtungen, elektrische und medizinische Anwendungen, Laborzubehör, Pumpenteile
Polyphenylsulfid (PPS)	Anwendungen in der Elektronik, beim Kochen und in Autos, sterilisierbares Laborzubehör
Polyisopren (NR)	Handschuhe, Reifen, Gummistiefel, Gummibänder, Radiergummis, Schläuche, medizinische Anwendungen
Polybutadien	Reifen, Golfbälle, Schlauchinnenteile
Acrylnitrilbutadienstyrol (ABS)	Musikinstrumente, Keder, elektrische und medizinische Anwendungen, Schutzhelme, Kanus, Küchengeräte, Spielzeug
Styrolbutadien (SBR)	Reifen, Schuhe, Gebäude, Papierbeschichtungen
Polyhydroxyalkanoate (PHA)	Medizinische Geräte,

Literatur

- [1] PlasticsEurope (2013) Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-2013.aspx?Page=DOCUMENT&FoID=2>
- [2] Thompson, R.C. (2006) Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions. In: Krause, J.C., Nordheim, H., Bräger, S. (Eds.), Marine Nature Conservation in Europe. Federal Agency for nature Conservation, Stralsund, Germany. Pp. 107-115
- [3] 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
- [4] Wagner, W., et al. (2014) Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe* 26: 12
- [5] Eriksen, M., Lebreton, L.C., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borrorro, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G., Reisser, J. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* 9, doi: 10.1371/journal.pone.0111913
- [6] Law, K.L., Morét-Ferguson, S.E., Goodwin, D.S., Zettler, E.R., DeForce, E., Kukulka, T., Proskurowski, G. (2014) Distribution of Surface Plastic Debris in the Eastern Pacific Ocean from an 11-Year Data Set. *Environ. Sci. Technol.* 48, 4732-4738
- [7] Woodall, L.C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G.L.J., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A.D., Narayanaswamy, B.E., Thompson, R.C. (2014) The deep sea is a major sink for microplastic debris. *R. Soc. Open sci.* 1:140317
- [8] Dubaish, F., Liebezeit, G. (2013) Suspended microplastics and black carbon particles in the Jade System, Southern North sea. *Water Air Soil Pollut.* 224, 1352-1360
- [9] Claessens, M., De Meetser, S., Van Landuyt, L., Thopson, R.C., Thiel, M. (2011) Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2199-2204.
- [10] Leslie, H.A., van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D. (2013) Microplastic survey of the Dutch environment. Novel data set of microplastics in North Sea sediments, treated wastewater effluents and marine biota. Amsterdam: Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam.
- [11] Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S. (2013) Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Mar. Pollut., Bull.* 77, 177-182.
- [12] Zbyszewski, M., Corcoran, P.L., Hockin, A. (2014) Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. *J. Great Lakes Res.* 40, 288-299
- [13] Imhof, H.K., Ileva, N.P., Schmid, J., Niessner, R., Laforsch, C. (2013) Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Curr. Biol.* 23: R867-R868
- [14] Florian FAURE, Marie CORBAZ, Hadrien BAECHER and Luiz Felipe DE ALENCASTRO (2012) Pollution due toPlastics and Microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea. *Archives des Science* 65, 157-16
- [15] Faure, F., de Alencastro, F. (2014) Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Bericht für das Bundesamt für Umwelt.
- [16] Lechner, L., Keckeis, H., Lumesberger-Loislet, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., Schludermann, E. (2014) The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution* 188, 177-181
- [17] Horton, A.A., Lahive, E., Svendsen, C., Williams, R.J., Read, D.S., Spurgeon, D.J. (2015) Presence and Abundance of Microplastics in the Thames River Basin UK. Poster presented at SETAC Europe 2015 in Barcelona.
- [18] Andrady, A. (2011) Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596-1605.
- [19] 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, 468-771
- [20] Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, M., Han, G.M., Rani, M., Lee, J., Shim, W.J. (2015) A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples. *Mar. Pollut. Bull.* 93, 202-209
- [21] Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D. and Russell, A.E. (2004) Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304, 838
- [22] Sanchez, W., Bender, C., Porcher J.M. (2014) Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: preliminary study and first evidence. *Environ. Res.* 128, 98-100
- [23] von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., Kohler, A. (2012) Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after experimental exposure. *Environ. Sci. Technol.* 46, 11327-11335
- [24] Wegner, A., Besseling, E., Foekema, E.M., Kamermans, P., Koelmans, A.A. (2012) Effects of nanopolystyrene on the feeding behaviour of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.). *Environ. Toxicol. Chem.* 31, 2490-2497
- [25] Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T.S. (2013) Microplastic ingestion by zooplankton. *Environ. Sci. Technol.* 47, 6646-6655

- [26] Lee, K.W., Shim, W.J., Kwon, O.Y., Kang, J.H. (2013) Size-dependent effects of micro polystyrene particles in the marine copepod *Tigriopus japonicas*. Environ. Sci. Technol. 47, 11278-11283
- [27] Oliveira, M., Ribeiro, A., Hylland, K., Guilhermino, L. (2013) Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). Ecol. Inic. 34, 641-647
- [28] Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., Lehtiniemi, M. (2014) Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. Environ. Pollut. 185, 77-83
- [29] Farrell, P., Nelson, K. (2013) Trophic level transfer of microplastics: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). Environ. Pollut. 177, 1-3
- [30] Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J. (2013) Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. Sci. Rep. 3, 2363
- [31] Browne, M.A., Niven, S.J., Galloway, T.S. et al. (2013). Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity. Current Biology. 23:2388-2392.
- [32] Lambert, S., Sinclair, C., Boxall, A. (2014) Occurrence, degradation, and effect of polymer-based materials in the environment. Rev Environ Contam Toxicol. 227:1-53

Ansprechperson

Dr. Anke Schäfer, Telefon +41 58 765 5436, anke.schaefer@oekotoxzentrum.ch

as, Juli 2015

Oekotoxzentrum | Eawag | Überlandstrasse 133 | Postfach 611 | CH-8600 Dübendorf
T +41 (0)58 765 55 62 | F +41 (0)58 765 58 63 | info@oekotoxzentrum.ch | www.oekotoxzentrum.ch

Centre Ecotox | EPFL-ENAC-IIE-GE | Station 2 | CH-1015 Lausanne
T +41 (0)21 693 62 58 | F +41 (0)21 693 80 35 | info@centreecotox.ch | www.centreecotox.ch