

Kirsten Stöven, Frank Jacobs, Ewald Schnug

Mikroplastik: Ein selbstverschuldetes Umweltproblem im Plastikzeitalter

Microplastic: A selfmade environmental problem in the plastic age

Zusammenfassung

Mikroplastik (Kunststoffpartikel < 5 mm) entsteht als Zersetzungsprodukt von hauptsächlich erdölbürtigen Polymeren bzw. Kunststoff- oder Plastikprodukten. Die Belastung der Umwelt mit Polymeren beginnt jedoch schon bei Partikeln im µm-Bereich. Zahlreiche Kunststoff- oder Plastikprodukte sind toxisch und nicht abbaubar. Sie können mikrobiell nicht abgebaut werden, sondern überdauern Jahrzehnte bis Jahrhunderte in der Umwelt. Durch Wind und Sonnenlicht werden Kunststoffe lediglich fragmentiert. Kunststoffpartikel und mit diesen vergesellschaftete persistente organische Schadstoffe (POPs) wie z.B. Phenanthren und DDT werden von Tieren im Süß- und Meerwasser als vermeintliche Nahrung aufgenommen. Die Schadstoffe gelangen so in die Nahrungskette. Die Auswirkungen von Mikroplastik sind für die marine Biosphäre wesentlich besser untersucht als für limnische und terrestrische Lebensräume. Es fehlen bislang standardisierte Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung von Mikroplastik-Kunststoffabfall. Auch in Gesetzestexten findet die Thematik „Mikroplastik“ bislang keine Berücksichtigung. Plastikerzeugnisse werden schon seit längerem in Landwirtschaft und Gartenbau z.B. als Agrarfolien und Styromull verwendet. Bislang gibt es nur sehr wenige Untersuchungen zu Verteilung und Verbleib von Mikroplastik im Boden.

Stichwörter: Mikroplastik, Partikelgrößen, Additive, POPs, Analytik, Transfer in die Biosphäre, Ausdehnung der Verschmutzung, Risikopotential

Abstract

Microplastic is weathered mainly mineral oil based synthetic polymer (< 5 mm) called as plastic. The environmental pollution with plastic starts with particles in µm-size. The multitude of plastic products is toxic and inert, unable to microbial degradation they remain decades and centuries in the environment. Plastic products are solely defragmented by wind and sunlight. Microplastic socialized usually with persistent organic pollutants (POPs) as Phenanthren and DDT are ingested by organisms mistakable as food in fresh and marine water. By this way pollution enters the foodweb. Effects of microplastic are investigated superiorly in marine biosphere than for limbic and terrestrial habitats. Up to now standardized research methods to characterize microplastic waste are lacking. Also in legislature the keyword “microplastic” is not considered. Plastic products are resident in agri- and horticulture for a long time as agrofoil and styromull. The distribution and disposition of microplastic in soil is unexplored so far.

Key words: Microplastic, particlesize, POPs, transfer in biosphere, extension of pollution, riskpotential

Einleitung

Durch eine verstärkte mediale Berichterstattung zur immer weiter zunehmenden Umweltbelastung durch Plastikmüll gerieten in der jüngsten Vergangenheit die

Institut

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig

Kontaktanschrift

Dr. Kirsten Stöven, Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Gebäude 250, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: kirsten.stoeven@jki.bund.de

Zur Veröffentlichung angenommen

6. Mai 2015

Schlagworte Mikroplastik (MP) und Bioplastik/Biokunststoff in den Blickpunkt der Öffentlichkeit. Der vorliegende Artikel soll zu diesem komplexen Thema Hintergrundinformation liefern und einen kurzen Überblick zum aktuellen Forschungsstand geben.

„Mikroplastik“ ist eine potentielle, bislang bei uns dank einer geregelten Abfallentsorgung kaum wahrgenommene Bedrohung der Umwelt. Jeder produziert täglich Mikroplastik, das seinen Ursprung als Plastikmüll hat. Die Bedrohung begann in den 1950er Jahren, als die Menschen zunehmend Kunststoffprodukte herstellten. Nach deren Nutzung bleibt Plastikmüll zurück, der heute ubiquitär ist (BARNES et al., 2009). Schätzungsweise gelangen jährlich sechs bis 26 Millionen Tonnen Plastikprodukte als Abfall in die Weltmeere (KLAMMER und BLAGE, 2013). Selbst in Tiefseesedimenten wurden Plastikteilchen gefunden (ERIKSEN et al., 2014; VAN CAUWENBERGHE et al., 2013). CARPENTER und SMITH (1972) berichteten schon 1972 über Plastikartikel-Funde in der Saragossa-See.

Leider fehlen bislang exakte nationale wie internationale Erhebungen über den Ist-Zustand des Plastikmüllaufkommens. Die Existenz eines globalen Plastik- und Mikroplastikproblems drängt sich aber durch mediale Berichte (DITTMERS, 2014) zunehmend in das Bewusstsein. Aus diesem Grund fand am 15. Juli 2014 das Fachgespräch zum Thema „Mikroplastik“ der Ressortforschungseinrichtungen (RFE) auf Initiative des Bundesinstitutes für Risikobewertung (BfR), der Bundesanstalt für Gewässerkunde (bfg) und des Umweltbundesamtes (UBA) in Berlin statt. An der Veranstaltung nahmen ca. 50 Personen aus 11 Ressortforschungseinrichtungen sowie die Projektträger (PT) des BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), des PTKA-WTE (Projektträger Karlsruhe Wassertechnologie und Entsorgung) und dem PTJ (Jülich/Rostock) teil.

Ausgelöst wurde die aktuelle Aufmerksamkeit besonders durch allerdings bislang nicht bestätigte Berichte (STÄHLE, 2014) über angebliche Mikroplastikfunde in Nahrungsmitteln (z.B. Trinkwasser, Bier Honig und Meeresrestieren) sowie Kosmetika (z.B. Zahnpasta und Duschgel). Den genannten Kosmetika werden bzw. wurden bewusst kleine Plastikpartikel als Abrasionssubstanzen zur Reinigung zugesetzt (WIETHOFF, 2006; ANONYMUS, 2014).

Zeitweilig enthielten solche Kosmetikprodukte bis zu 10% Mikroplastik in Form von Plastikpellets (GREENPEACE, 2014). Der Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel (IKW) bestätigte, dass in einzelnen kosmetischen Produkten sogar Konzentrationen von bis zu 15% erreicht werden können (IKW, 2013). Mikroplastikpartikel aus Kosmetika werden zwangsläufig mit dem häuslichen Abwasser freigesetzt. Aufgrund der öffentlichen Diskussion gibt es inzwischen Bestrebungen der Produzenten auf einen Verzicht (Selbstverpflichtung) von Mikroplastikzusätzen in Kosmetikartikeln (BUND, 2015).

Mikroplastikpartikel entstehen aber auch beim Zerschneiden größerer Plastikartikel oder werden bei Schiffshavarien (z.B. Containerverlusten) als Rohmaterial der Kunststoffproduktion freigesetzt (WAGNER et al., 2014). Die Plastikpartikel können aufgrund ihrer physikalischen

Eigenschaft, nämlich sehr geringe Größe (0,1 µm-5 mm) bei gleichzeitiger großer relativer Oberfläche kaum sedimentieren, sondern schweben in der Wassersäule unterhalb der Wasseroberfläche. Zudem sind sie biologisch nicht abbaubar (KUCZERA, 2013) und gelangen letztendlich auch aus dem Binnenland mit dem Wasser über die Flüsse in die Weltmeere (LESLIE et al., 2012; MCCORMICK et al., 2014).

Zusammenfassend hat das Fachgespräch gezeigt, dass eine nationale und internationale Relevanz für das Thema durch seine dramatische weltweite Allgegenwärtigkeit in der Anthroposphäre gegeben ist. Daher ist es nötig, den Begriff Mikroplastik zu spezifizieren. Welche Materialien fallen darunter und in welchen Größenbereichen kommt Mikroplastik vor? Weiterhin ist die Toxizität der Partikel und deren Akkumulationsverhalten in Mensch und Tier zu klären. Ebenso müssen Richtlinien der Plastik-Analytik für wässrige Matrices und Lebensmittel entwickelt werden, da bislang keine verbindliche bzw. einheitliche Methodik existiert. Für die Analytik von Mikroplastik in der Luft wurde seitens des UBA allerdings angedeutet, dass z.Z. keine Relevanz bestünde. REIFFERSCHIED und BRENNHOLT (2014) resümierten ernüchternd, dass in allen Bereichen derzeit Wissenslücken bestehen.

Das Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, ist in die Problematik „Mikroplastik“ durch die Bundesbodenschutz-Verordnung (BBodSchV, 2012) und das Düngemittelrecht, u.a. die Düngemittelverordnung (DüMV, 2012) involviert, insbesondere wenn Klärschlamm auf ackerbaulich genutzten Flächen ausgebracht bzw. wenn dort Abwasser verregnet wird. Forschungsbedarf besteht insbesondere bei den Fragen, ob durch Abwasser und Klärschlamm Mikroplastikpartikel in Böden transferiert werden und ob pflanzliches Wachstum beeinflusst wird. In Gesetzestexten wie z.B. dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG, 2012), dem Düngegesetz (DüngG, 2012) und der Bioabfallverordnung (BioAbfV, 2013) wird Kunststoff als Fremdstoff in den Substraten (Boden, Klärschlamm, Kompost) gewertet und auf maximal 0,5% der Trockenmasse reglementiert.

Entstehung des globalen Plastik-Problems

Seit über 50 Jahren nimmt die Kunststoff- bzw. Plastikproduktion weltweit zu und erreichte im Jahr 2012 etwa 288 000 000 t. Eine exakte Mengenangabe der Welt-Plastikproduktion ist nicht möglich, da Angaben für einige Plastikarten wie z.B. Polyester- und Polyacrylgewebe fehlen (PLASTICSEUROPE.DE, 2015a).

Chemische Charakterisierung von Plastik

Es gibt eine Vielzahl von Kunststoffen bzw. Plastiksorten. Kunststoffe sind heute hauptsächlich fossil basierte, also auf der Grundlage von Erdöl hergestellte Polymerwerkstoffe (ODENTHAL, 2014). Seinen Ausgang nahm die Kunst-

stoffproduktion schon 1531, als der Augsburger Benediktinerpater Wolfgang SEIDEL eine hornartige Substanz aus Casein herstellte (BRAUN, 2006). Bis etwa 1880 wurden natürliche (= biobasierte) Polymere auf der Basis nachwachsender Rohstoffe wie z.B. Cellulose produziert, danach zunehmend synthetische Polymere auf Erdölbasis (AESCHLIMANN und STAUFFER, 2012).

Der führende europäische Wirtschaftsverband der Kunststoffhersteller Plasticseurope (PLASTICSEUROPE.DE, 2015b) zählt folgende Sammelbegriffe für aktuell produzierte Kunststoffsorten auf: Biokunststoffe, Epoxid-Harze, Fluorpolymere, PET (Polyethylenterephthalate), Polycarbonat, Polyolefine, PVC (Polyvinylchlorid), PVdC (Polyvinylidenchlorid), Styrol-Polymere und ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze).

Der Begriff Biokunststoff wird sogar für drei unterschiedliche Materialgruppen verwendet (WODKE, 2013):

- Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (biobasierte Kunststoffe), die aber nicht zwangsläufig abbaubar sind,
- biologisch abbaubare Kunststoffe (sowohl aus Erdöl als auch biobasiert), deren Abbau mehrere Jahre dauern kann (PLASTICSEUROPE.ORG, 2012) und

- biokompatible (z.B. Implantate) Kunststoffe (sowohl aus Erdöl als auch biobasiert), die aber nicht zwangsläufig biologisch abbaubar sind.

Durch Polymerisation und Polykondensation der Monomere Ethylen und Propylen werden verschiedene Kunststofftypen gebildet, die den Polymer-Familien der Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere zugeordnet werden (AESCHLIMANN und STAUFFER, 2012; PLASTICSEUROPE.DE, 2015c). Kunststoffe werden in den Bereichen Verpackung, Bauen und Wohnen, Mobilität, Elektro- und Elektronik, Medizin und Gesundheit sowie Sport und Freizeit eingesetzt (PLASTICSEUROPE.DE, 2015b).

Die Abfallbeseitigung von Kunststoffen strebt die Abfallverwertung durch Recycling an. Die Recycling-Code-Nummern (Tab. 1) sollen die sortenreine Sammlung von Kunststoff-Abfällen ermöglichen. Den gesetzlichen Rahmen liefert die Verpackungsverordnung (VerpackV, 1989).

Der Sonderfall Bioplastik/Biokunststoffe

Der Begriff „Bioplastik“ ist kein geschützter Begriff (WODKE, 2013). Der bei Lebensmitteln häufig dem Pro-

Tab. 1. Kunststoffsorten und ihre Recycling-Code-Nummern

Kunststoffsorte bzw. Sammelbegriff	Abkürzung	Code-Nummer	Produkte
Biokunststoffe			
Epoxid-Harze			Haushaltsgeräte, Satelliten
Fluorpolymere			Implantate, Katheder, Beschichtungen
Polyethylen terephthalate	PET	1	Getränkeflaschen, Dosen, Folien
Polycarbonat bzw. „andere Kunststoffe“	PC	7	Flaschen, Automobile, Spülschwamm, Teflon, Legosteine, Rohre
Polyolefine	Kunststoffarten aus: – Polyethylen – LDPE (Low Density PE) – Polyethylen – LLDPE (Linear Low Dens. PE.) – Polyethylen – HDPE (High Density PE.) – Polypropylen (PP)	4	Frischhaltefolie, landwirtschaftliche Folien dehnbare Industriefolien
		2	Container für Flüssigkeiten,
		5	Flaschenverschlüsse, Süßwarentüten, Koffer
Polyvinylchlorid	PVC	3	Gummistiefel, Blutbeutel
Polyvinyliden-Chlorid	PVdC	81	beschichtetes Papier
Verschiedene Styrol-Polymere	PS	6	Joghurtbecher, Brillengestelle, Möbel
Ungesättigte Polyesterharze	UP-Harze		Yacht, Kanu

(PLASTICSEUROPE.DE, 2015b; HUG INDUSTRIE-TECHNIK UND ARBEITSSICHERHEIT, 2015)

duktnamen als Präfix vorangestellte Begriff „Bio“ soll beim Konsumenten „Gesundheit“ und „Umweltfreundlichkeit“ assoziieren. Für den ökologischen Landbau sind die Begriffe „Bio“ oder „Öko“ durch einschlägige EU-Rechtsvorschriften geschützt und bieten damit dem Konsumenten in Hinblick auf Produktionsbedingungen und Produktqualität ein gewisses Maß an Sicherheit. Unternehmen und landwirtschaftliche Betriebe, die Bio- oder Öko-Produkte herstellen, müssen klar definierte Vorschriften einhalten und werden kontrolliert und zertifiziert (BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG, 2015).

Mit zunehmender Produktvielfalt gewinnt für den kritischen Verbraucher nicht nur für das eigentliche „Bio-Produkt“, sondern auch die Umweltfreundlichkeit der Verpackung aus „Bioplastik“ oder „Biokunststoff“ immer mehr an Bedeutung und kann die Kaufentscheidung beeinflussen. Hauptsächlich findet „Bioplastik“ oder „Biokunststoff“ im Lebensmittelbereich Verwendung für Getränkeflaschen und Einweg-Plastiktüten. In Lebensmittelverpackungen hingegen wird es aufgrund seiner unbefriedigenden Materialeigenschaften bisher kaum eingesetzt. Die meisten dazu bislang verwendeten Bioplastik-Folien schützen die Ware nicht ausreichend vor Gerüchen, Sauerstoff und Wasserdampf.

Bioplastik/Biokunststoff als Substitut für herkömmliches Plastik wird von Umweltorganisationen als Werbeaussage ohne tatsächlich ökologische Bedeutung kritisiert. Die Herstellung von Bioplastik aus nachwachsenden Rohstoffen erfolgt in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion. Bioplastik verrottet schlecht und eignet sich nur für eine industrielle Kompostierung. Ein weiteres Gegenargument sind fehlende Recyclingmöglichkeiten (NDR, 2015).

Plastikmüll im Meer

Über den Verbleib der weltweit erzeugten Kunststoffprodukte nach deren Nutzung gibt es kaum valide Daten (REIFFERSCHIED UND BRENNHOLT, 2014).

Nicht ordnungsgemäß entsorgte Plastikprodukte treten als sogenanntes „primäres“ und „sekundäres“ Plastik

weltweit insbesondere an den Meeresküsten und in den Ozeanen wieder auf. Primäres Plastik (1–5 mm) ist mit bloßem Auge nur schwer zu erkennen. Sekundäres Plastik ist haptisch und visuell erfassbar, es sind immer noch die originären Plastikprodukte erkennbar. Auf Satellitenbildern lassen sich fünf Müllstrudel (DOHAN UND MAXIMENKO, 2010) aus sekundärem Plastik in den Ozeanen der Erde ausmachen (Abb. 1). Es wurde geschätzt, dass hierbei 70 bis 80% des Plastikmülls aus dem Inland stammt und über Flüsse den Ozeanen zugeführt wird (KLAMMER UND BLAGE, 2013). Ein Großteil des ozeanbürtigen Plastikmülls im Meerwasser entstammt der illegalen Müllverklappung von Schifffahrt und Fischerei, aber auch Verluste von Fanggeschirr/Netzen der Berufsfischerei und verlorene Deckschlachten tragen erheblich zum Plastikmüllaufkommen bei.

Das marine Ökosystem wurde daraufhin bevorzugt untersucht (RILLIG, 2012), und es wurde für Plastikmüll im Meer der Fachbegriff „marine litter“ (übersetzt Meeresgeröll) geprägt. Seitdem jedoch auch im Süßwasser hohe Anteile von Mikroplastikmüll gefunden wurden, findet die Untersuchung von Wasser und Sedimenten in Flüssen und Seen größere Beachtung (DICK-PFAFF, 2013; WAGNER et al., 2014).

Analytischer Nachweis von Mikroplastik

Die Möglichkeiten der Identifikation und chemischen Charakterisierung von Plastikpartikeln fasst TENTSCHEIT (2014) vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) anlässlich des Fachgespräches zum Thema „Mikroplastik“ der Ressortforschungseinrichtungen (RFE) wie folgt zusammen: FT-IR (Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie) in Kombination mit Mikroskopie, Chromatographie als Pyrolyse-Gaschromatographie (Pyr-GC), Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS), Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie (LC-MS), Fluoreszenzmikroskopie und Photometrie. Die Größen-Bestimmung kann durch Filtration, Mikroskopie, Hyperspektrale Mikroskopie (NTA), Lichtstreuung, Coulter Zähler, Gel-

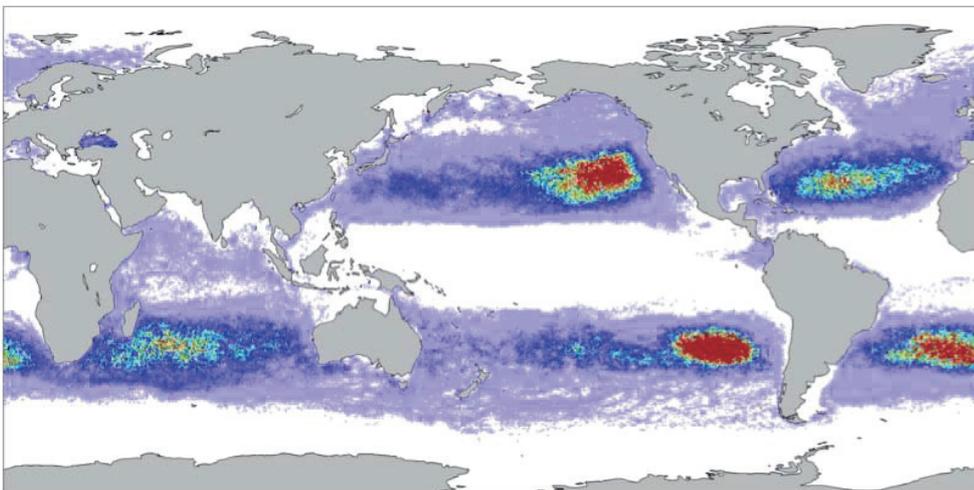


Abb. 1. Plastikmüllstrudel in den Ozeanen auf Basis der Simulation nach dem Vorhersagemodell von MAXIMENKO. Die roten Bereiche zeigen die Maximalkonzentrationen (DOHAN UND MAXIMENKO, 2010).

Permeations- Chromatographie (GPC) und Feldflussfraktionierung erfolgen.

Die Separierung von Plastikpartikeln aus dem Sand von Meeresstränden und Sedimenten kann nach dem Trocknen und Sieben des Substrates auf 1 mm Maschenweite visuell und mit dem Mikroskop erfolgen (DEKIFF et al., 2014). Plastikteilchen < 1 mm werden aus der Suspension aus Sand und gesättigter NaCl und anschließender Flotation mit NaI extrahiert.

Morphologie des Plastikmülls

Plastikmüll wird unabhängig von dessen chemischem Charakter nach Größe, Form und Farbe (DEKIFF et al., 2014) der Partikel klassifiziert. Jedoch zerbricht Plastik in zunehmend kleinere Bruchstücke. ARTHUR et al. (2009) postulieren für Fragmente kleiner 5 mm den Begriff „microplastics“. Nach europäischer Klassifizierung werden alle Bruchstücke unter 25 mm als „meso-litter“ bzw. als Mesopartikel gewertet (WAGNER et al., 2014). Partikel über 25 mm werden als Makropartikel eingestuft (REIFFERSCHIED und BRENNHOLT, 2014), Tab. 2.

Andere Autoren wie z.B. ERIKSEN et al. (2014) schlagen folgende Klassifizierung vor: 0,33–1,00 mm (small microplastics), 1,01–4,75 mm (large microplastics), 4,76–200 mm (mesoplastic), und > 200 mm (macroplastic). Eine international verbindliche Klassifizierung gibt es jedoch noch nicht.

Zu den kleinsten anthropogen emittierten Partikeln zählt das sogenannte „Nano-Silber“ (1 nm–100 nm, = 0,001–0,1 µm). Dessen Problematik wurde jedoch bei oben erwähntem Fachgespräch am 15.07.2014 nicht angesprochen. Nano-Silber wird z.B. mit Kunststoff-Fasern aus textilem Gewebe und Kosmetikprodukten vorrangig in das Abwasser abgegeben (GRESSLER und FRIES, 2010; BROWNE et al., 2011). Nanosilber bezeichnet Partikel aus elementarem Silber mit möglichen bioziden Eigenschaften. Diese werden als Nanopartikel Textilien und Kunststoffen bei der Produktion mit dem Ziel einer antimikrobiellen Wirksamkeit zugegeben (GRESSLER und FRIES, 2010).

Zu ebenfalls kleineren anthropogen emittierten Kunststoffpartikeln zählt der Reifenabrieb von Kraftfahrzeugen. Gummi-Reifen bestehen aus einer Mischung von natürlichem und synthetischem Kautschuk und gehört chemisch zu den Polymeren (PEETZ, 2014). Pro Jahr gelangen 43 000 Tonnen Reifenabrieb auf die Straßen Deutschlands (KOCHER, 2010). Die Kleinstpartikel (0,1–10 µm) des Reifenabriebs zählen zum lungengängigen Feinstaub (UBA, 2015a). Grobkörnige Partikel > 10 µm können mit dem Regenwasser in die Kanalisation gelangen (PEETZ, 2014). Bei dem Fachgespräch zum Thema „Mikroplastik“ wurde die Problematik des Reifen-Abriebs nur am Rande erwähnt.

Mikroplastik – eine Gefahr für die Biosphäre

BARNES et al. (2009) benannten die Haltbarkeit, die nicht nachhaltige Nutzung und eine ungeeignete Abfallhand-

Tab. 2. Klassifizierung des Plastikmülls nach der Partikelgröße (erweitert und in Anlehnung an REIFFERSCHIED und BRENNHOLT, 2014, WG-GES, 2013)

Partikel-Größe	Plastikpartikelbezeichnung
bis zu 100 nm	Nano-Silber
0,1 – 10 µm	Nano-Partikel
1 – 5 mm	Large MP
> 20 nm – 5 mm	Mikro-Partikel
5 – 25 mm	Meso-Partikel
> 25 mm	Makropartikel

habung von Plastik als Ursachen der extensiven Akkumulation von Plastik in der Umwelt. Mit fortschreitender Zerkleinerung nehmen die vom Plastik ausgehenden Gefahren wie Bioakkumulation (WAGNER et al., 2014) durch tierische Ingestion, Freisetzung von Additiven aus Kunststoffen (BAKIR et al., 2012) sowie Desorption persistenter organischer Schadstoffen (POPs,) und die Verbreitung von auf den Partikeln siedelnder potentiell humanpathogener Mikroorganismen (McCORMICK et al., 2014) zu.

Ingestion (Fraß) von Plastik

BARNES et al. (2009) und ERIKSEN et al. (2014) geben einen Überblick auf das globale Vorkommen von Kunststoff- bzw. Plastikpartikeln in den Ozeanen und deren Einfluss auf die Tierwelt. Mikroplastikpartikel (MP) werden aufgrund ihrer geringen Größe (< 1 mm) im marinen Ökosystem von vielen Organismen als vermeintliche Nahrung aufgenommen (RILLIG, 2012; COLE et al., 2011) und können nach Fraß der Erstkonsumenten an Organismen höherer trophischer Ebenen, den sogenannten Zweitkonsumenten weitergegeben werden (SETÄLÄ et al., 2014; VAN CAUWENBERGHE und JANSSEN, 2014). Da die Anzahl der vorhandenen Mikropartikel im Meer ständig größer wird (BARNES et al., 2009; ERIKSEN et al., 2014), steigt auch die Anzahl dokumentierter Funde von Tieren mit aufgenommenen Plastikpartikeln (WAGNER et al., 2014).

Fütterungsversuche zeigten, dass von Organismen aufgenommene Plastikpartikel (SETÄLÄ et al., 2014; VAN CAUWENBERGHE und JANSSEN, 2014) im Magen-Trakt akkumuliert (BROWNE et al., 2011; THOMPSON et al., 2004) oder wieder ausgewürgt werden oder den Darm als Kotbestandteil wieder verlassen (HÄMER et al., 2014) können. Die aufgenommenen Plastikartikel können aber auch den Verdauungstrakt blockieren (WRIGHT et al., 2013) und zum Tod (VON MOOS et al., 2012) führen.

Der Fraß von Makropartikeln (> 20 mm), der mechanisch physiologische Verletzungen des Intestinal-Traktes verursachen kann, ist für größere Meeresorganismen (Krebse, Fische, Vögel und Wale) vielfach dokumentiert (VEGTER et al., 2014; EPA, 2011; WDSCS, 2015; COLE et al.,

2011). In einigen Meerebereichen findet man bei 80% der Tiere Plastik im Körper (LÖDER und GERDTS, 2012). Angaben zu den toxikologischen Auswirkungen werden unter dem Punkt Additive behandelt.

Freisetzung von Additiven

Bei der Herstellung von Plastikprodukten aus den o.g. Kunststoffen bzw. Plastiksorten werden durch Zugabe chemischer Wirkstoffe, sogenannter Additive, gewünschte Eigenschaften wie Weichheit, Flammschutz und UV-Schutz generiert (UBA, 2015b; LÖDER und GERDTS, 2012). Additive können organische und anorganische Verbindungen sein. Abhängig von der Kunststoffsorte finden dabei verschiedene Additive z.B. als Stabilisatoren, Hilfsstoffe, Weichmacher, Füllstoffe, Verstärkungsmittel und Farbstoffe Verwendung (ANDREAS, 1990).

Die zugegebenen Additive können toxisch oder hormonell wirksam sein (ANDRA, 2013; DEKIFF et al., 2014; BERGMANN et al., 2012). Sie können aus den Kunststoffen wieder heraustraten, da zwischen Kunststoff- und Additivmolekül keine kovalente Bindung existiert (LÖDER und GERDTS, 2012). Die Desorption von Additiven (UBA, 2015c) ist abhängig von Plastikart, -alter und Partikelgröße und dem umgebenden Milieu, z.B. Darmlumen oder aquatische Umwelt (KOELMANS et al., 2014). Die Additive werden in das umgebende Wasser oder nach Fraß durch Tiere in deren Gastrointestinalraum, z.B. Kabeljau (KOELMANS et al., 2013) abgegeben.

Laut PLASTICSEUROPE.DE (2015d) werden Additive in geringer Beimengung, laut UBA (2009) jedoch in großen Mengen zugesetzt. LÖDER und GERDTS (2012) nehmen an, dass Additive etwa 20% des Gesamtgewichtes von Plastik ausmachen. ANDRA (2013) schätzt, dass im Jahr 2015 etwa 230 Millionen Tonnen Additive allein für die Herstellung von Kunststoff-Verpackungsmaterialien für Trinkwasser und Lebensmittel verbraucht werden. FRIES et al. (2013) fanden in den sich im Sand der Nordseeinsel Norderney befindlichen Plastikpartikeln organische und anorganische Additive, die mittels Pyrolyse-Gaschromatographie und Massenspektrometrie (PyrGC/MS) identifiziert wurden. Als organische Additive wurden einige als sogenannte Weichmacher bekannte Phthalate wie Diethylhexylphthalate (DEHP), Dibutylphthalate (BBP), Diethylphthalate (DEP), Diisobutylphthalate (DIBP), Dimethylphthalate (DMP) und Benzaldehyd sowie 2,4-Di-tert-butylphenol (Abbauprodukt des Weichmachers Irgafos) nachgewiesen (DEUSSING, 2007).

Die Wirkung von Phthalaten haben in Tierversuchen toxische Effekte nach oraler Aufnahme auf Niere, Leber und Hoden gezeigt (WÖLFLE, 2012; UBA, 2015c). Lebensmittel können durch zur Verpackung verwendete Kunststoffe (Lebensmittel-Kontaktmaterialien) mit den Phthalaten DEHP Di(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP), Di-butylphthalat (DBP), Butyl-benzyl-phthalat (BBP), Di-isononyl-phthalat (DINP) und Di-isodecyl-phthalat (DIDP) kontaminiert werden. Die EU-Verordnung Nr. 10/2011 begrenzt die tägliche menschliche Aufnahme dieser

Phthalate auf 3,0; 0,6; 30,0; 9,0 und 9,0 mg je Person (60 kg) und Tag. Ein genotoxisches Potential wurde jedoch nicht festgestellt (UBA, 2015c).

Additive können wie z.B. das Bisphenol A auch eine östrogene Wirksamkeit haben (VON DER HEYDE, 2000). So sind über 90% der Bevölkerung mit dem östrogen-wirksamen Schadstoff Bisphenol A (BPA) belastet. Bisphenol A findet als Additiv Verwendung bei der Herstellung von Polycarbonat-Kunststoff (PC) für Getränkeflaschen und Epoxid-Harzen (Innenbeschichtung von Getränke- und Konservendosen) (DEUTSCHE WIRTSCHAFTS NACHRICHTEN, 2013). Daher wurde der Verkauf von Babyflaschen aus Polycarbonat in der EU am 1. Juni 2011 verboten (ALLUM, 2015).

Akkumulation von POPs

Plastikpartikel und auch die darin enthaltenen Additive können aufgrund ihrer Eigenschaften andere persistente organische Schadstoffe, sogenannte POPs (TEUTEN et al., 2009; BAKIR et al., 2012) wie z.B. PCB (Polychlorierte Biphenyle) und Nonylphenole sowohl aus dem Meer- wie auch Süßwasser adsorbieren. Mit der englischen Abkürzung POPs werden anthropogen produzierte, nicht abbaubare (persistente) organische Schadstoffe aus den Bereichen der Pestizide, Industriechemikalien und Verbrennungsprodukten bezeichnet. Ursache der Adsorption ist die Hydrophobie der Kunststoffoberflächen (ANDERSSON, 2014) und der ebenfalls hydrophobe Charakter mancher POPs (LÖDER und GERDTS, 2012).

Einige POPs wie z.B. Organochloresteride können dabei ebenso wie Additive eine hormonelle Wirksamkeit haben (VON DER HEYDE, 2000; LENZ, 2015). Mit dem Fraß von Plastikpartikeln durch Meerestiere (TEUTEN et al., 2009) gelangen auch die POPs in den tierischen Magen-Darmtrakt und können dort wieder desorbieren (BAKIR et al., 2014). Die Adsorption und Desorption beeinflussenden Faktoren sind bislang nur teilweise erforscht (BAKIR et al., 2014). Auf die Möglichkeit eines Transportes von POPs mit Biofilmen und organischer Substanz weisen LÖDER und GERDTS (2012) hin.

Vertikaler und horizontaler Transfer von Mikroorganismen

Plastik gelangt als Mikroplastik aus Kosmetikprodukten z.B. Zahnpasta und Peelingwaschgel wie auch in Form von Kunststoff-Fasern mit dem Waschwasser der Waschmaschine (BROWNE et al., 2011) in das kommunale Abwasser, von wo es in Flüsse, Seen (DICK-PFAFF, 2013) und schließlich in das Meer gespült wird (GERDTS, 2014). Abwasserentsorgungsanlagen können das Mikroplastik aufgrund dessen physikalischen Eigenschaften, nämlich sehr geringe Größe (0,1 µm-5 mm) bei gleichzeitiger großer relativer Oberfläche, was einen starken Auftrieb verursacht (McCORMICK et al., 2014), nicht erfassen. Die Partikel sedimentieren erst nach mikrobiellem Bewuchs

der Oberfläche (Biofouling) oder schweben in der Wassersäule unterhalb der Wasseroberfläche (LESLIE et al., 2012).

Ein Algen- oder Pilzbewuchs auf Plastik wurde von RIOS et al. (2007) und McCORMICK et al. (2014) nicht festgestellt. CARPENTER und SMITH (1972) hingegen identifizierten auf den Oberflächen im Meer treibender Plastikpartikel siedelnde Diatomeen (*Mastogloia angulata*, *M. pusilla*, *M. hulburti*, *Cyclotella meneghiniana* und *Pleurosigma* sp.) und Korallen (*Clytia cylindrica* und *Gonothyrax hyalina*). Auch LÖDER und GERDTS (2012) beschreiben eine Besiedelung der Partikeloberflächen. Die dadurch entstehenden Biofilme beeinflussen das Absinken und haben damit eine Vektorfunktion.

Im Flusswasser hinter einem Klärwerk fanden McCORMICK et al. (2014) sowie LU und LU (2014) auf Plastikoberflächen siedelnde Bakterien der Gattungen wie z.B. *Campylobacter*, *Aeromonas*, *Arcobacter*, *Veillonella* und *Pseudomonas* mit teilweise humanpathogenen Spezies. Dies kann als Hinweis für einen neuen Pfad der Verbreitung von abwasserassoziierten Krankheitserregern durch Mikroplastik gewertet werden (McCORMICK et al., 2014). KOELMANS et al. (2013) beschreiben die Freisetzung von Additiven durch Mikroorganismen bei Besiedelung der Oberflächen von Plastikpartikeln.

Nutzung von treibendem Plastik als Habitat

GOLDSTEIN et al. (2012) untersuchten 1972–73 und 2009–10 das Vorkommen des pelagischen Meerwasserläufers *Halobates sericeus*, der nach ANDERSEN (2012) Treibgut (Holz, Federn, Muschelschalen) im Nord-Pazifik zur Eiablage nutzt. Während in den Jahren 1972/73 weder treibende Plastikpartikel noch darauf siedelnde flugunfähige Insekten gefunden wurden, stellten GOLDSTEIN et al. (2012) vierzig Jahre später eine signifikante Zunahme sowohl von Plastikpartikeln als auch auf Plastikpartikeln siedelnder adulter und juveniler Tiere sowie abgelegter Eier von *H. sericeus* fest. Dieses neue künstliche Habitat der sich räuberisch vom Zooplankton ernährenden Organismen, die wieder selber Fischen, Vögeln, Schildkröten als Nahrung dienen, verschiebt das Nahrungsnetz zwischen Primärproduzenten und Wirbeltieren des Nektons (Biozönose schwimmender Tiere) mit bislang unbekanntem Konsequenzen.

Plastik im Boden und in der Landwirtschaft

Kunststoffe werden nach LIEBEZEIT (2013) in der Landwirtschaft und im Gartenbau zur Bodenbedeckung in Form gegebenenfalls gefärbter Polyethylen-Folien genutzt. In den Ackerboden eingearbeitet werden die sogenannten Bodenverbesserer Styromull (Polystyrol), Hygromull (Polyurethan) und der Superabsorber AAC (Polyacrylamid). Die luftgefüllten geschlossenzelligen Hartschaumflocken (Styromull) (Ø bis 1,5 cm) werden zur Auflockerung schwerer Böden (KNOBLOCH, 1970) und Dachbegrün-

zung eingesetzt. Hygromull ist ein offenzelliger Hartschaum zur Wasserspeicherung (PROFIFLOR, 2012), der nach einem Jahr zu 5% abgebaut sein soll, jedoch nicht für biologischen Gartenbau freigegeben ist (WEYMAN, 2011). WOLTER et al. (2002) stellten für das wasserspeichernde Copolymerisat AAC (Acrylamid und Acrylsäure) unter Laborbedingungen im Boden einen Abbau nach 22-wöchiger Inkubation mit dem Weißfäulepilz *Pleurotus ostreatus* von 8% fest.

Es besteht die Gefahr, dass die in den Boden eingearbeiteten Kunststoffe bzw. Teile fragmentierter Folien mit Regenwasser aus dem Substrat wieder ausgewaschen werden. Bislang gibt es nur wenige Studien zum Vorkommen von Mikroplastik in Klärschlamm z.B. LESLIE et al. (2013) und MINTENIG et al. (2014). MINTENIG et al. (2014) haben synthetische Fasern, Kügelchen, Pellets und Partikel aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyamid (PA) von 50–100 µm im Klärschlamm der von ihnen in Nordwestdeutschland untersuchten 12 Kläranlagen gefunden. Im Mittel wurden 899 Mikroplastikpartikel und -fasern je Kubikmeter geklärtem Abwasser nachgewiesen. LESLIE et al. (2012) fanden 10 bis 20 Partikel je Liter in den Niederlanden. Kläranlagen können Mikroplastik nicht eliminieren und im Klärschlamm wurden verbliebene 1,2–5,7 Milliarden Mikroplastikpartikel die pro Jahr und Kläranlage gefunden. ROEX et al. (2014) gehen von 90%tigem Rückhaltevermögen für Plastikpartikel aus.

Der Fund von Kunststofffasern im Boden wird als Indikator für eine erfolgte Ausbringung von Klärschlamm gewertet (ZUBRIS und RICHARDS, 2005; BEECHER et al., 2005). HAGSPIEL (2014) weist auf die Möglichkeit hin, dass bei Ausbringung von Klärschlamm auf Ackerflächen Mikroplastikpartikel durch Aerosolbildung verbreitet werden können. Die Stadt Nürnberg verbrennt daher den Klärschlamm. Auch in den Niederlanden wird der größte Teil des Klärschlammes durch Verbrennung entsorgt (ROEX et al., 2014).

Im aquatischen Lebensraum fanden BHATTACHARYA et al. (2010) bei den Algenarten *Chlorella* und *Scenedesmus* eine elektrostatische Anziehung zwischen positiv geladenen Nanopartikeln und den Cellulosefasern, welche zu einer verringerten Photosynthese und blockiertem Gasaustausch führte. Der Einfluss von Mikroplastik im Boden auf die Photosynthese von Pflanzen wurde bislang nicht untersucht.

Wie in allen anderen Bereichen, bestehen auch für den Lebensraum Boden zum Thema Mikroplastik große Forschungslücken. So wurde z.B. der Einfluss von Mikroplastikpartikeln bei Fraß auf die Bodenfauna bislang nicht untersucht. Erleiden z.B. Regenwürmer nach dem Fraß von Mikroplastikpartikeln dasselbe Schicksal wie ihre marinen Verwandten (WRIGHT et al., 2013) und verhungern trotz mit Plastik erfülltem Darm?

Literatur

AESCHLIMANN, S., S. STAUFFER, 2012: Die Geschichte des Kunststoffes. <http://www.do-it-werkstatt.ch/fileadmin/documents/Technik>

- FactsIVPNMS/TechnikFacts2012/GeschichteKunststoffTechnikFacts.pdf (Abfragedatum: 4. März 2015).
- ALLUM, 2015: Allergie, Umwelt und Gesundheit – Themenseite „Bisphenol A in Babyflaschen“. <https://www.allum.de/stoffe-und-ausloeser/bisphenol-babyflaschen> (Abfragedatum: 16. März 2015).
- ANDERSEN, N.M., 2012: *Halobates* – Oceanic Insects. <http://www.zmuc.dk/entoweb/Halobates/HALOBAT1.HTM> (Abfragedatum: 16. März 2015).
- ANDERSSON, E., 2014: Micro plastics in the oceans and their effect on the marine fauna. Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap, Upsalla.
- ANDRA, S.S., 2013: A Perspective on Human Exposures to Plastics Additives in Water-Packaging Materials. *Journal of Water Resource and Protection* 5 (04), 25.
- ANDREAS, H., 1990: Taschenbuch der Kunststoff-Additive: Stabilisatoren, Hilfsstoffe, Weichmacher, Füllstoffe, Verstärkungsmittel, Farbstoffe für thermoplastische Kunststoffe. 3. Ausgabe, (R. Gächter, H. Müller, Hrsg.), München u.a., Hanser.
- ANONYMUS, 2014: Mikroplastik – unsichtbare Gefahr. http://www.bund.net/themen_und_projekte/meeresschutz/muellkampagne/mikroplastik/ (Abfragedatum: 4. März 2015).
- ARTHUR, C., J. BAKER, H. BAMFORD, 2009: Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic marine Debris. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- BAKIR, A., S.J. ROWLAND, R.C. THOMPSON, 2012: Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 64 (12), 2782-2789.
- BARNES, D.K., F. GALAGNI, R.C. THOMPSON, M. BARLAZ, 2009: Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364 (1526), 1985-1998.
- BBodSchG, 2012: Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212). <http://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BJNR155400999.html> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- BBodSchV, 2012: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 31 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212). <http://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BJNR155400999.html> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- BEECHER, N., E. HARRISON, N. GOLDSTEIN, M. MCDANIEL, P. FIELD, L. SUSSKIND, 2005: Risk perception, risk communication, and stakeholder involvement for biosolids management and research. *Journal of Environmental Quality* 34 (1), 122-128. <http://www.mclam.com/pdf/Biosolids-Article.pdf> (Abfragedatum: 24. März 2015).
- BERGMANN, M., M. KLAGES, 2012: Increase of litter at the Arctic deep-sea observatory Hausgarten. *Marine Pollution Bulletin* 64 (12), 2734-2741.
- BHATTACHARYA, P., S. LIN, J.P. TURNER, P.C. KE, 2010: Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis. *The Journal of Physical Chemistry C* 114 (39), 16556-16561. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp1054759> (Abfragedatum: 24. März 2015).
- BioAbfV, 2013: Bioabfallverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. April 2013 (BGBl. I S. 658), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 5. Dezember 2013 (BGBl. I S. 4043). <http://www.gesetze-im-internet.de/bioabfv/BJNR295500998.html> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- BRAUN, D., 2006: Zeittafel zur Geschichte der Kunststoffe. <http://www.deutsches-kunststoff-museum.de/rund-um-kunststoff/zeittafel-zur-geschichte/> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- BROWNE, M.A., P. CRUMP, S.J. NIVEN, E. TEUTEN, A. TONKIN, T. GALLOWAY, R. THOMPSON, 2011: Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology* 45 (21), 9175-9179.
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland), 2015: Mikroplastik Die unsichtbare Gefahr – Der BUND-Einkaufsratgeber, Stand 03.03.2015. http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/meere/131119_bund_meeresschutz_mikroplastik_produkliste.pdf (Abfragedatum: 16. März 2015).
- BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG, 2015: Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) – Themenseite Bio-Siegel. <http://www.oekolandbau.de/bio-siegel/haeufig-gestellte-fragen/#c66678> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- CARPENTER, E.J., K.L. SMITH, 1972: Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science* 175 (3), 1240-1241.
- COLE, M., P. LINDEQUE, C. HALSBAND, T.S. GALLOWAY, 2011: Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin* 62 (12), 2588-2597.
- DEKIFF, J.H., D. REMY, J. KLASMEIER, E. FRIES, 2014: Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney. *Environmental Pollution* 186, 248-256.
- DEUSSING, G., 2007: Damit Leitungsrohre das Trinkwasser nicht belasten. *Laborpraxis-Würzburg*, 31(1/2), 42. <http://www.laborpraxis.vogel.de/labortechnik/articles/102432/tp> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- DEUTSCHE WIRTSCHAFTS NACHRICHTEN, 2013: Bisphenol A: Giftige Plastik-Rückstände gelangen in das menschliche Blut. – Artikel in den Deutschen Wirtschafts Nachrichten vom 5. November 2013. <http://deutsche-wirtschafts-nachrichten.de/2013/11/05> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- DICK-PFAFF, C., 2013: Mikropartikel: Schädlicher Plastikmüll sogar im Gardasee – Belastung mit Kunststoffteilchen ist nicht allein ein Problem der Ozeane, sondern trifft auch Süßwasserseen stärker als gedacht – Meldung vom 8. Oktober 2013 in Wissenschaft-aktuell. http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Mikropartikel_Schaedlicher_Plastikmuell_sogar_im_Gardasee_1771015589342.html (Abfragedatum: 4. März 2015).
- DIETMERS, H., 2014: Mikroplastik in Mineralwasser und Bier – Beitrag vom 2.6.2014 im NDR-Magazin „Markt“. http://www.ndr.de/ratgeber/verbraucher/Mikroplastik-in-Mineralwasser-und-Bier_mikroplastik134.html (Abfragedatum: 4. März 2015).
- DOHAN, K., N. MAXIMENKO, 2010: Monitoring ocean currents with satellite sensors. *Oceanography* 23 (4), 94-103.
- DüngG, 2012: Düngegesetz vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. März 2012 (BGBl. I S. 481). http://www.gesetze-im-internet.de/d_ngg/BJNR005400009.html (Abfragedatum: 4. März 2015).
- DüMV, 2012: Düngemittelverordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482). http://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/BJNR248200012.html (Abfragedatum: 4. März 2015).
- EPA, 2011: Marine Debris in the North Pacific – A Summary of Existing Information and Identification of Data Gaps. <http://www.epa.gov/region9/marine-debris/pdf/MarineDebris-NPacFinalAprvd.pdf>.
- ERIKSEN, M., L.C. LEBRETON, H.S. CARSON, M. THIEL, C.J. MOORE, J.C. BORRERO, F. GALGANI, P.G. RYAN, J. REISSER, 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, 15 S.
- FRIES, E., J.H. DEKIFF, J. WILLMEYER, M.T. NUELLE, M. EBERT, D. REMY, 2013: Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. *Environmental Science: Processes & Impacts* 15 (10), 1949-1956.
- GERDTS, G., 2014: Wir leben in einer Plastikwelt – Im Interview mit ESKP spricht Meeresbiologe Gunnar Gerdts vom Alfred-Wegener-Institut über Erkenntnisse, Probleme und Gefahren von Mikroplastik im Abwasser. <http://www.eskp.de/wir-leben-in-einer-plastikwelt/> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- GOLDSTEIN, M.C., M. ROSENBERG, L. CHENG, 2012: Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. *Biology Letters* 8 (5), 817-820.
- GREENPEACE, 2014: Greenpeace-Themenseite „Plastikmüll hat keine Zukunft“. <https://secured.greenpeace.org/austria/de/aktivwerden/proteste/konsum/wegwerf-plastik/?a=3> (Abfragedatum: 16. März 2015).
- GRESSLER, S., R. FRIES, 2010: Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien – Produkte, gesundheitliche und regulatorische Aspekte. http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/3/4/7/CH1180/CMS1267090819397/bmg_nanosilber_fassung_veroeffentlichung_final_mit_deckblaetter.pdf (Abfragedatum: 6. März 2015).
- HAGSPIEL, B., 2014: Mikropartikel aus Kunststoff – Plastik in Abwasser und Gewässer. http://www.nuernberg.de/imperia/md/sun/dokumente/sun/mikroplastik_im_abwasser_03_2014.pdf (Abfragedatum: 16. März 2015).
- HÄMER, J., L. GUTOW, A. KÖHLER, R. SABOROWSKI, 2014: Fate of Microplastics in the Marine Isopod *Idotea emarginata*. *Environmental science & technology* 48 (22), 13451-13458.
- HUG INDUSTRIETECHNIK UND ARBEITSSICHERHEIT, 2015: Recycling-Kennzeichnung, Recycling-Code gemäß Verpackungsverordnung (VerpackV). http://www.tabelle.info/recycling_code.html (Abfragedatum: 28. März 2015).
- IKW, 2013: Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel (2013): telefonische Information vom 25.11.2013 in: BfR, 2014: Polyethylenhaltige Mikroplastikpartikel: Gesundheitsrisiko durch die Verwendung von Hautreinigungs- und Zahnpflegemitteln ist unwahrscheinlich – Stellungnahme Nr. 032/2014 des BfR vom 3. Januar 2014. <http://www.bfr.bund.de/cm/343/polyethylen>

- haltige-mikrokunststoffpartikel-gesundheitsrisiko-durch-die-
verwendung-von-hautreinigung-und-zahnpflegemitteln-ist-
unwahrscheinlich.pdf (Abfragedatum: 16. März 2015).
- KLAMMER, P., J. BLAGE, 2013: Wenn Plastik tötet. *Focus*, **13**, 110-114.
- KNOBLOCH, H., 1970: Bodenmelioration mit Kunststoffen. *Grundl. Landtechnik* **5**(20) 149-151. <http://440ejournals.uni-hohenheim.de/index.php/Grundlagen/article/viewFile/981/881> (Abfragedatum: 24. März 2015).
- KOCHER, B., 2010: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb BAST-Bericht V 188, Bundesanstalt für Straßenwesen. <http://www.bast.de/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v-2010-2009/v188.html> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- KOELMANS, A.A., E. BESSELING, A. WEGNER, E.M. FOEKEMA, 2013: Plastic as a carrier of POPs to aquatic organisms: a model analysis. *Environmental science & technology* **47** (14), 7812-7820.
- KOELMANS, A.A., E. BESSELING, M. FOEKEMA, 2014: Leaching of plastic additives to marine organisms. *Environmental Pollution* **187**, 49-54.
- KUCZERA, M., 2013: Mikroplastik in marinen Umweltproben – neues Analyseverfahren mittels Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR) – Vortrag auf 23. Meeresumwelt-Symposium 2013 des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) am 12.6.2013 in Hamburg. http://www.bsh.de/de/Das_BSH/Veranstaltungen/MUS/2013/Vortraege_23_Meeresumwelt-Symposium_2013/Kuczera.pdf (Abfragedatum: 4. März 2015).
- LENZ, F., 2015: Themenseite der Dixindatenbank des Bundes und der Länder zu Organochlorpestiziden. <http://www.pop-dioxindb.de/organochlorpestiziden/> (Abfragedatum: 23. März 2015).
- LESLIE, H.A., M. MOESTER, M. DE KREUK, D. VETHAAK, 2012: Verken-nende studie naar lozing van microplastics door rwzi's. *H2O* **44** (14/15), 45-47 http://www.laserlab.vu.nl/en/Images/Artikel%20H2O%20juli2012_tcm116-280754.pdf (Abfragedatum: 24. März 2015).
- LESLIE, H.A., M.J.M. VAN VELZEN, A.D. VETHAAK, 2013: Microplastic survey of the Dutch environment. Novel data set of microplastics in North Sea sediments, treated wastewater effluents and marine biota, Institute for Environmental Studies, Final Report R-13/11, 9 September 2013. http://www.ivm.vu.nl/en/Images/IVM%20report%20Microplastic%20in%20sediment%20STP%20Biota%202013_tcm53-409860.pdf (Abfragedatum: 16. März 2015).
- LIEBEZEIT, G., 2013: Mikroplastik in unserer Umwelt – Wo findet es sich und wo landet es überall? – Vortrag anlässlich des Fachgespräches „Fachgespräch: Mikroplastik in Kosmetika – Harmloser Zwerg oder unsichtbare Gefahr?“ der Bundestagsfraktion von Bündnis 90/Die Grünen. https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/Veranstaltungen/140507-FG-Mikroplastik/140507_Vortrag_Herr_Prof_Liebezeit.pdf (Abfragedatum: 23. März 2015).
- LÖDER, M., G. GERDTS, 2012: MICROPLASTIK! QUO VADIS? – Workshop 05.09. & 06.09.2012 in Bremerhaven. http://www.awi.de/fileadmin/user_upload/Institute/Scientific_Advice/Nordseebuero/Microplastic_Quo_vadis_web.pdf (Abfragedatum: 16. März 2015).
- LU, X.-M., P.-Z. LU, 2014: Characterization of Bacterial Communities in Sediments Receiving Various Wastewater Effluents with High-Throughput Sequencing Analysis. *Microb. Ecol.* **67** (3), 612-623.
- MCCORMICK, A., T.J. HOELLEIN, S.A. MASON, J. SCHLUEP, J.J. KELLY, 2014: Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environmental science & technology* **48** (20), 11863-11871. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es503610r> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- MINTENIG, S., I. INT-VEEN, M. LÖDER, G. GERDTS, 2014: Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen. – Abschlussbericht. http://www.awi.de/fileadmin/user_upload/News/Press_Releases/2014/4_Quartal/Mikroplastik_Klaeranlagen/Abschlussbericht_Mikroplastik_in_Klaeranlagen.pdf (Abfragedatum: 16. März 2015).
- NDR, 2015: Themenseite Bioplastik – eine Mogelpackung? http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/45_min/rueckschau/Bioplastik-eine-Mogelpackung,bioplastik101.html (Abfragedatum: 24. März 2015).
- ODENTHAL, F., 2014: Vom Kunststoff zurück zum Öl – Artikel vom 21. Februar 2014 in VDI Nachrichten – Onlineausgabe: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Vom-Kunststoff-zurueck-Oel> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- PEETZ, K., 2014: Leonardo – Wissenschaft und mehr – Sendung vom 21. März 2014 in WDR5: Die kleine Anfrage: Was passiert mit dem Gummiabrieb der Reifen?. <http://www.wdr5.de/sendungen/leonardo/diekleineanfrage/alltag/reifenabrieb104.pdf> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- PLASTICSEUROPE.DE, 2015a: Geschäftsbericht 2013 PlasticsEurope Deutschland e.V. – Verband der Kunststoffhersteller. <http://www.plasticseurope.de/Document/geschäftsbericht-2013.aspx> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- PLASTICSEUROPE.DE, 2015b: Kunststoffsorten. <http://www.plasticseurope.de/das-ist-kunststoff/kunststoffsorten.aspx> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- PLASTICSEUROPE.DE, 2015c: Das ist Kunststoff – Erzeugung und Verarbeitung. <http://www.plasticseurope.de/das-ist-kunststoff/erzeugung-verarbeitung.aspx> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- PLASTICSEUROPE.DE, 2015d: Das ist Kunststoff – Kunststoff-Additive. <http://www.plasticseurope.de/das-ist-kunststoff/kunststoff-additive.aspx> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- PLASTICSEUROPE.ORG, 2012: PlasticsEurope's view on "bioplastics". http://www.plasticseurope.org/documents/document/20120522112447-plastics_industry_view_on_bioplastics_v16052012.pdf (Abfragedatum: 4. März 2015).
- PROFILOR, 2012: Produktbeschreibung Hygromull. <http://www.profilor.de/Produkte/012-hygromull-text.htm> (Abfragedatum: 16. März 2015).
- REIFFERSCHIED, G., N. BRENNHOLT, 2014: Mikroplastik in Bundeswasserstraßen. – Vortrag auf den 12. Mainzer Arbeitstagen des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) am 15. September 2014. <http://www.luwg.rlp.de/icc/luwg/med/314/31460677-e84e-5841-f692-bcf0defa5a20,11111111-1111-1111-1111-111111111111.pdf> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- RILLIG, M.C., 2012: Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environmental science & technology* **46** (12), 6453-6454. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es302011r> (Abfragedatum: 16. März 2015).
- RIOS, L.M., C. MOORE, P.R. JONES, 2007: Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* **54** (8), 1230-1237.
- ROEX, E., D. VETHAAK, H. LESLIE, M. DE KREUK, 2014: Potential risk of microplastics in the fresh water environment. <http://www.stowa.nl/upload/publicaties/Inventarisatie%20risico%20microplastics%20engels.pdf> (Abfragedatum: 24. März 2015).
- SETÄLÄ, O., V. FLEMING-LEHTINEN, M. LEHTINIEMI, 2014: Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution* **185**, 77-83.
- STÄHLE, S., 2014: Lebensmittelsicherheit – Mikroplastik in Lebensmitteln – Stellungnahme des Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. (BLL). <http://www.bll.de/de/der-bll/positionen/bll-stellungnahme-mikroplastik-in-lebensmitteln> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- TENTSCHERT, J., 2014: Vortrag zur Identifikation und chemischen Charakterisierung von Plastikpartikeln a. d. Fachgespräch der Ressortforschungseinrichtungen zu „Mikroplastik“, (unveröff.).
- TEUTEN, E.L., J.M. SAQUING, D.R. KNAPPE, M.A. BARLAZ, S. JONSSON, A. BJÖRN, H. TAKADA, 2009: Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **364** (1526), 2027-2045.
- THOMPSON, R.C., Y. OLSEN, R.P. MITCHELL, A. DAVIS, S.J. ROWLAND, A.W. JOHN, D. MCGONIGLE, A.E. RUSSELL, 2004: Lost at sea: where is all the plastic? *Science* **304** (5672), 838-838.
- UBA (Umweltbundesamt), 2009: Biologisch abbaubare Kunststoffe. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3834.pdf> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- UBA (Umweltbundesamt), 2015a: UBA-Themenseite Feinstaub. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- UBA (Umweltbundesamt), 2015b: UBA-Themenseite: Müll im Meer. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/muell-im-meer> (Abfragedatum: 6. März 2015).
- UBA (Umweltbundesamt), 2015c: UBA -Themenseite Phtalat – darin: Fromme et al. (2012) Phtalat-Belastung der Bevölkerung in Deutschland: Expositionsrelevante Quellen, Aufnahmepfade und Toxikokinetik am Beispiel von DEHP und DINP. Band III: Humane Toxikokinetikstudie <http://www.uba.de/uba-info-medien/4393.html> (Abfragedatum: 8. März 2015).
- VAN CAUWENBERGHE, L., A. VANREUSEL, J. MEES, C.R. JANSSEN, 2013: Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution* **182**, 495-499.
- VAN CAUWENBERGHE, L., C.R. JANSSEN, 2014: Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution* **193**, 65-70.
- VEGTER, A.C., M. BARLETTA, C. BECK, J. BORRERO, H. BURTON, M.L. CAMPBELL, M. HAMANN, 2014: Global research priorities for the management and mitigation of plastic pollution on marine wildlife. *Endangered Species Research* **25**, 225-247.

- VerpackV, 1989: Verpackungsverordnung vom 21. August 1998 (BGBl. I S. 2379), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 17. Juli 2014 (BGBl. I S. 1061). http://www.gesetze-im-internet.de/verpackv_1998/index.html (Abfragedatum: 16. März 2015).
- VON DER HEYDE, F., 2000: Untersuchungen zur neuroendokrinen Wirkung von Nonylphenol bei juvenilen Regenbogenforellen. Dissertation. http://www.vetmed.uni-muenchen.de/downloads/promotion/ws_99_00/von_der_heyde.txt (Abfragedatum: 6. März 2015).
- VON MOOS, N., P. BURKHARDT-HOLM, A. KÖHLER, 2012: Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental science & technology* **46** (20), 11327-11335.
- WAGNER, M., C. SCHERER, D. ALVAREZ-MUÑOZ, N. BRENNHOLT, X. BOURRAIN, S. BUCHINGER, E. FRIES, C. GROSBOIS, J. KLASMEIER, T. MARTI, S. RODRIGUEZ-MOZAZ, R. URBATZKA, A.D. VETHAAK, M. WINTHER-NIELSEN, G. REIFFERSCHIED, 2014: Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe* 2014, **26**, 9 S.
- WDCS, 2015: Themenseite der Whale and Dolphin Conservation (WDCS) zu Plastikmüll in Meeren. <http://uk.whales.org/sites/default/files/marine-debris-and-cetaceans.pdf> (Abfragedatum: 23. März 2015).
- WEYMAN, P., 2011: Skript Bodenkunde: Teil 2 Substrate. Hrsg. Staatliche Fachschule für Agrarwirtschaft – Fachrichtung Gartenbau sowie Garten- und Landschaftsbau – Landshut-Schönbrunn. http://www.fachschule-gartenbau.de/tl_files/skripten/substratwey.pdf (Abfragedatum: 16. März 2015).
- WG-GES, 2013: European MSFD Working Group on Good Environmental Status (WG-GES). <http://www.enveurope.com/content/26/1/12/table/T1> (Abfragedatum: 16. März 2015).
- WIETHOFF, H.C., 2006: Das Abrasionsverhalten verschiedener Zahnpastatypen auf Acrylaten. Med. Diss. Uni Ulm, 2006, 107 S.
- WODKE, T., 2013: Biokunststoff – das Material der Zukunft? – Interview mit Dipl.-Ing. Thomas Wodke vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. <http://www.muenchen-querbeet.de/ueberregional/biokunststoff-material-zukunft-interview-thomas-wodke-fraunhofer-institut-umwelt-sicherheits-undenergietechnik-umsicht> (Abfragedatum: 4. März 2015).
- WÖLFLE, D., 2012: Humantoxikologie der Phthalate. Beitrag in: Hormonaktive Stoffe: Phthalate – Folgetagung zum Nationalen Forschungsprogramm 50, 2012-06-05. https://openagrar.bmel-forschung.de/receive/openagrar_mods_00001548 (Abfragedatum: 16. März 2015).
- WOLTER, M., F. ZADRAZIL, S. HEY, J. HASELBACH, E. SCHNUG, 2002: Biologische Abbaubarkeit synthetischer superabsorbierender Bodenhilfsstoffe. – Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde. http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/zi028303.pdf (Abfragedatum: 16. März 2015).
- WRIGHT, S.L., R.C. THOMPSON, T.S. GALLOWAY, 2013: The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution* **178**, 483-492.
- ZUBRIS, K.A.V., B.K. RICHARDS, 2005: Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental Pollution* **138** (2), 201-211. http://ac.els-cdn.com/S0269749105002290/1-s2.0-S0269749105002290-main.pdf?_tid=4069e314-cd73-11e4-b541-00000aab0f02&acdnat=1426685741_5dc76fa921ba0810ad84242b94752b5 (Abfragedatum: 16. März 2015).