

Mikroplastik in Lebensmitteln: Orale Aufnahme, Toxikologie und Risikobewertung

Microplastics in food products: Oral uptake, toxicology and risk assessment

ZUSAMMENFASSUNG

Das Thema Mikroplastik hat in den vergangenen Jahren in der öffentlichen Wahrnehmung stark an Gewicht gewonnen. Plastik gelangt über Abwässer und unsachgemäße Abfallentsorgung in die Umwelt. Außerdem kann es auch aus Verpackungsmaterial oder durch Verarbeitungsprozesse in Lebensmittel gelangen. Es gibt keine allgemeingültige Definition von Mikroplastik. Oft wird eine Partikelgröße von 5 mm als Obergrenze und 100 nm oder 1 µm als Untergrenze angewandt. In allen Geweben, mit denen die Partikel in Kontakt kommen, könnten sie prinzipiell eine unerwünschte Wirkung entfalten. Daher ist eine der Hauptfragestellungen, ob sich durch Mikroplastik in der Ernährung für den Menschen ein Gesundheitsrisiko ergibt. Aufgrund mangelnder Datenlage kann eine zusammenfassende Bewertung der Wirkung von Mikroplastik auf die intestinale Barriere sowie eine abschließende gesundheitliche Risikobewertung aktuell noch nicht erfolgen. Die generellen Prinzipien der Risikobewertung sind jedoch auch auf Mikroplastik anwendbar.

HOLGER SIEG,
LINDA BÖHMERT,
ALFONSO LAMPEN

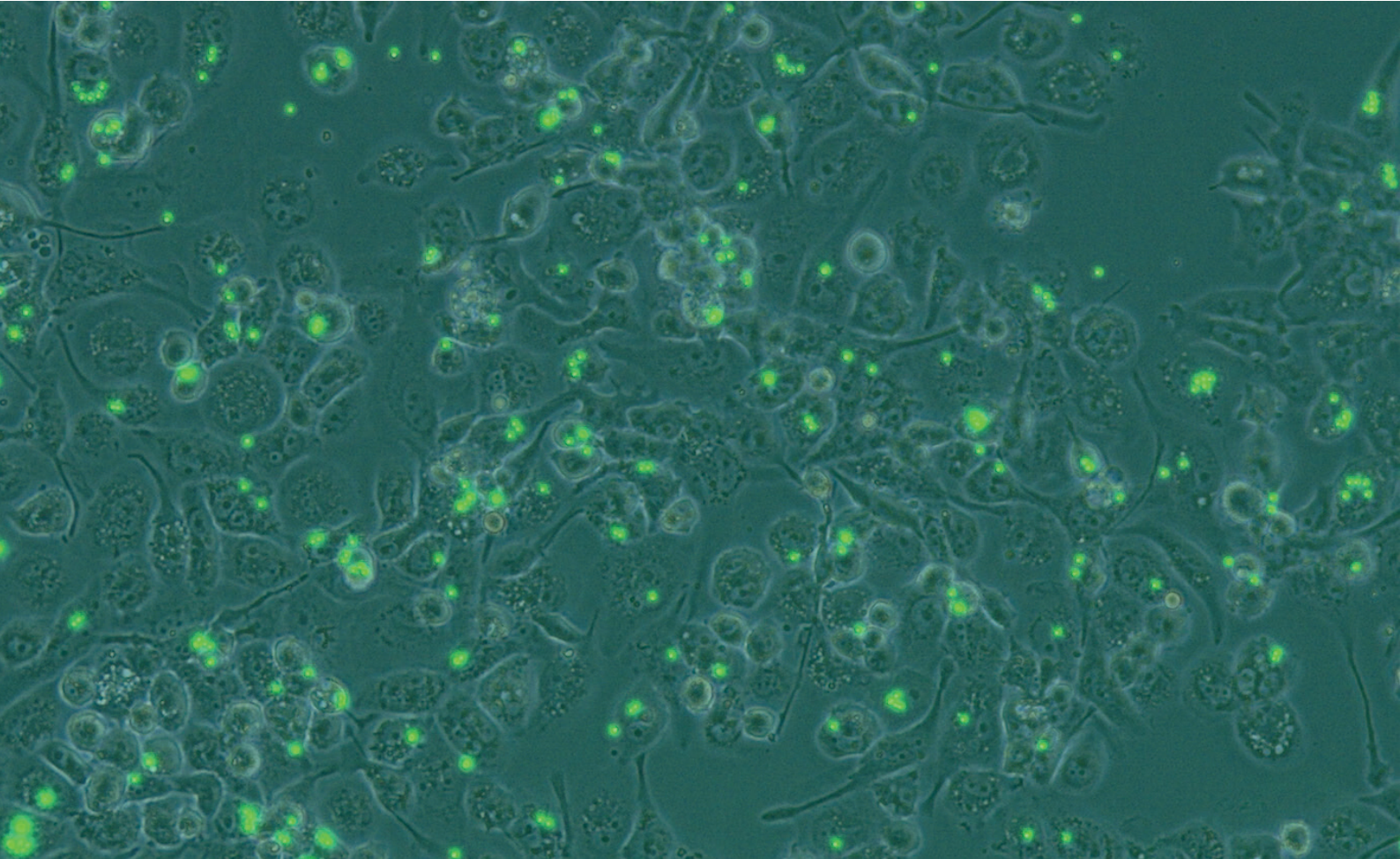
ABSTRACT

Recently, the topic of microplastics gained much public attention. Plastic reaches the environment via sewage and littering. Furthermore, it can enter food products via production processes and packaging. Yet, there is no general definition for microplastics. Mostly, a particle size between 100 nm or 1 µm and 5 mm is applied. It may lead to hazardous effects in all tissues which get in contact. Therefore, one of the main open questions is the risk that derives from orally ingested microplastics for the human health. Due to a lack of data, a sound risk assessment of microplastics on the intestinal barrier cannot be performed. Nevertheless, the general principles of risk assessment are applicable.

MIKROPLASTIK IN LEBENSMITTELN

Das Thema Mikroplastik hat in den vergangenen Jahren in der öffentlichen Wahrnehmung deutlich an Gewicht gewonnen. Die weltweite Plastikproduktion hat in den letzten Jahren weiter zugenommen. Plastik gelangt über Abwässer und unsachgemäße Abfallentsorgung in die Umwelt (Bouwmeester et al. 2015). Kürzlich konnte von verschiedenen Forschungsgruppen die Präsenz

von Mikroplastik auch in Lebensmitteln qualitativ gezeigt werden, wie beispielsweise in Mineralwasser, Bier, Honig und Meersalz (Welle, Franz 2018). Ein Bericht des CONTAM-Panels der Europäischen Lebensmittelbehörde (EFSA) befasst sich zudem mit dem Vorhandensein von Mikroplastik in Fischen und Meereslebewesen (EFSA 2016). Demzufolge wurden Plastikpartikel in circa einem Drittel der untersuchten Fische festgestellt, jedoch hauptsächlich in den unverzehrbaren Körperteilen, wie beispielsweise



Plastikpartikel in
Zellen. Quelle: BfR.

im Gewebe des Verdauungstrakts oder dem Mageninhalt. Ähnlich verhält es sich bei Muscheln, Shrimps und anderen Meerestieren. Außerdem kann Mikroplastik auch aus Verpackungsmaterial oder durch Verarbeitungsprozesse, wie beispielsweise Filtration, in Lebensmittel gelangen. Auch Reifenabrieb und Hausstaub tragen zum Eintrag von Mikroplastik in Lebensmittel bei, was bedeutet, dass Mikroplastik praktisch überall in der Umwelt und damit auch im menschlichen Umfeld vorkommt. Deshalb ist die Klärung offener Fragen hinsichtlich möglicher Risiken vordringlicher Bestandteil der Risikobewertung.

Doch worum handelt es sich bei Mikroplastik? Zunächst ist zu erwähnen, dass es keine allgemeingültige Definition gibt. In der Regel ist von Kunststoffen oder Polymeren die

Rede, welche sich in hitzesensible Thermoplaste (z. B. Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid), stabile Duroplaste (z. B. Kunstharze und Polyurethane) und Elastomere (z. B. Gummi und Kautschuk) unterteilen lassen. Neben dem Material ist jedoch auch die Größe entscheidend, um als Mikroplastik bezeichnet zu werden. Hier wird oft eine Partikelgröße unterhalb von 5 mm als Obergrenze und in Abgrenzung zu den gängigsten Definitionen von Nanopartikeln 100 nm oder 1 µm als Untergrenze angewandt.

Weiterhin wird in primäres und sekundäres Mikroplastik unterschieden. Primäres Mikroplastik wird absichtlich hergestellt und Produkten, wie beispielsweise Kosmetikartikeln, bewusst beigesetzt oder in der Lebensmittelverarbeitung verwendet. Sekundäres Mikroplastik entsteht durch Fragmentie-

rung von größeren Plastikteilen in der Umwelt durch chemische Umsetzung. Am besten beschrieben ist hier die Zersetzung von Plastik in den Weltmeeren, wo UV-Strahlung und Salzwassereinwirkung sowie mechanische Beanspruchung durch Wellen das Material mit der Zeit zerreiben.

Während primäres Mikroplastik oft in definierten Größen vorkommt und daher auch für Forschungszwecke direkt erworben werden kann, handelt es sich bei Sekundärmikroplastik um komplexe Gemische, die nur mit erheblichem Aufwand eingesammelt und analysiert werden können. Deren Verwendung und Untersuchung für die Klärung offener Fragen im Experiment wird angestrebt, beinhaltet aber mehrere Schwierigkeiten.

ANALYSE

Da Mikroplastik in der Regel einen breiten Partikelgrößenbereich abdeckt, ergeben sich abhängig von den Partikelgrößen unterschiedliche Herausforderungen. Partikel im Millimeter- und oberen Mikrometerbereich sind am einfachsten zu erfassen und zu analysieren. Vor allem im Umweltbereich sind die Erfahrungen mit den nötigen Filtrations- und Siebtechniken zur Anreicherung aus unter anderem Wasserproben groß. Analysiert werden sie in der Regel mikroskopisch. Kleinere Partikel, die auf diese Art nicht erfasst werden können, spielen aber für die Aufnahme durch die Ernährung eine größere Rolle und haben vermutlich auch eine größere Relevanz. Oral aufgenommen durchlaufen sie den Verdauungstrakt und erreichen die gastrointestinale Barriere. Die meisten Partikel müssen kleiner als 150 µm sein, um prinzipiell die Darmbarriere überwinden zu können (EFSA 2016). Eine Aufnahme in die Darmzellen ist in der Regel erst bei unter 10 µm Durchmesser zu erwarten, da andernfalls die Partikel größer sind als die einzelnen Epithelzellen selbst. Nur vom Darm aufgenommene und durch das Blutssystem verteilte Partikel gelangen in andere Organe, wie zum Beispiel die Leber. In allen Geweben mit denen die Partikel in Kon-

takt kommen, könnten sie prinzipiell eine unerwünschte Wirkung entfalten. Daher ist eine der Hauptfragestellungen der Forschung und Risikobewertung, ob sich durch Mikroplastik in der Ernährung für den Menschen ein Gesundheitsrisiko ergibt.

RISIKOABSCHÄTZUNG

Generell setzt sich eine Risikoabschätzung immer aus der Identifizierung der Gefahr, der Abschätzung des Gefahrenpotenzials einer Substanz sowie deren Expositionsmenge, dem Expositionsweg und der Aufnahmemenge in den Körper (Bioverfügbarkeit) zusammen. Erst aus diesen Informationen zu Menge und Gefahr lässt sich ein Risiko ableiten. Theoretisch ist eine toxische Wirkung von Mikroplastik auf mehreren Wegen vorstellbar. Einerseits können die Partikel als solche sowie deren Material eine Wirkung auf den Körper und die Gewebe sowie Organe in die sie gelangen, haben. Da die meisten Polymere, aus denen Plastikmaterialien hauptsächlich bestehen, unter den physikochemischen Bedingungen des Körpers jedoch weitgehend als unreaktiv (inert) gelten, erscheint hier das Risiko vermutlich gering, wobei es auch hier viele offene Fragen gibt.

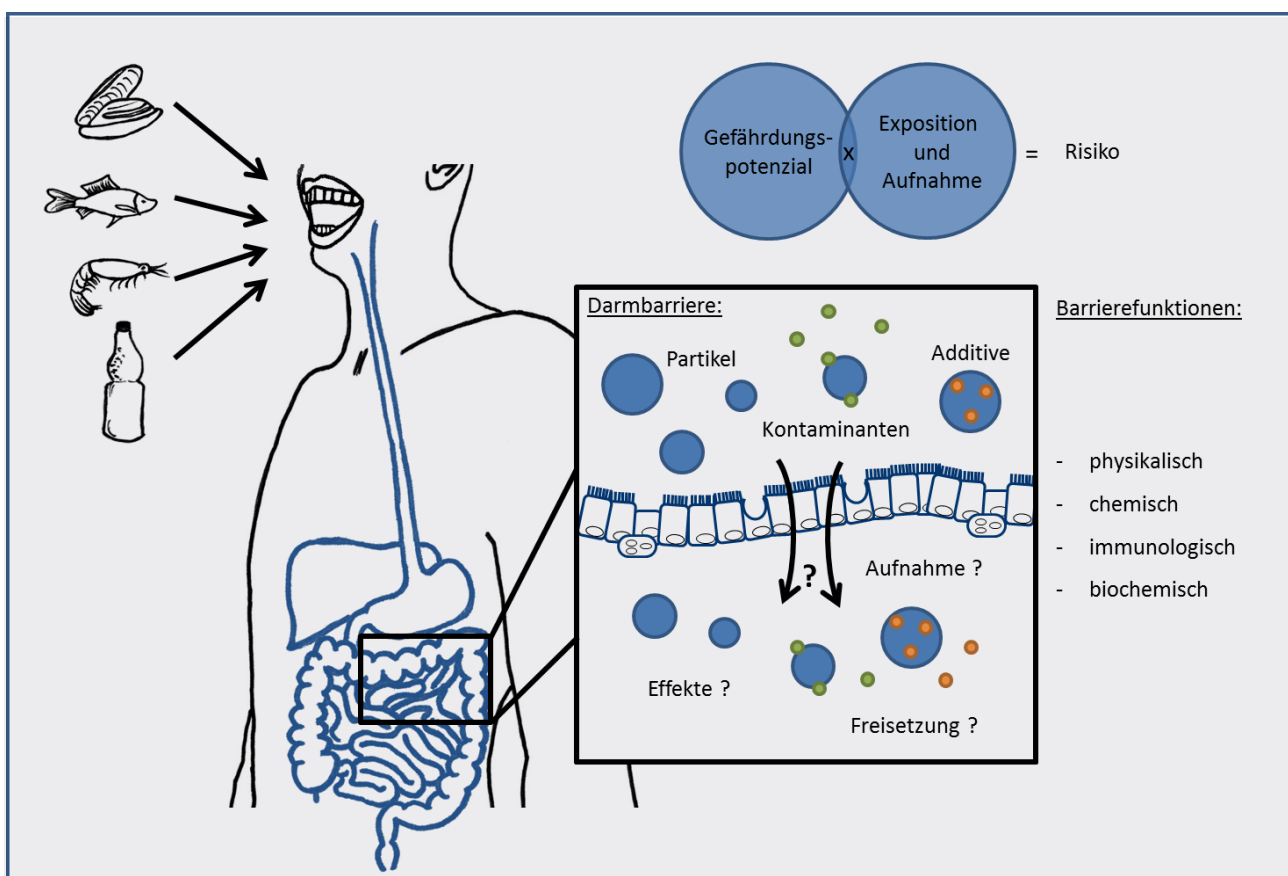
Neben den Polymeren werden den meisten Plastikarten bei der Herstellung Zusatzstoffe, wie Weichmacher, Farbstoffe, Duftstoffe und andere Additive, zugesetzt. Diese können unter verschiedenen Bedingungen wieder aus der Polymermatrix freigesetzt werden. Zudem könnten sich Kontaminanten der Umwelt, hitzebedingte Kontaminanten, Algentoxine oder Biozide an die Partikel anheften oder in sie einlagern und so vermehrt im Körper aufgenommen werden. Ob sie im Körper unter bestimmten Bedingungen wieder freigesetzt werden können, ist unklar. Dieser Beitrag wird von der Europäischen Lebensmittelbehörde EFSA jedoch als sehr gering (unter 0,01 %) eingeschätzt (EFSA 2016).

ORALE AUFNAHME

Der menschliche Körper ist durch mehrere Barrieren vor Einflüssen aus der Umwelt, wie zum Beispiel Fremdstoffe, geschützt (ABBILDUNG I). Dazu gehört auch die gastrointestinale Barriere. Die orale Bioverfügbarkeit variiert sehr stark je nach Stoffklasse. Als bioverfügbar gelten hingegen Stoffe und Partikel erst, wenn sie sowohl das Darmepithel als auch die Leber überwinden und mit dem Blutstrom im gesamten Körper verteilt werden können. Die Funktion der gastrointestinalen Barriere kann man in mehrere Schutzmechanismen unterteilen. Als erstes verfügt der Darm über einen mechanischen Schutz (physikalische Barriere), indem er durch eine schwer zu durchdringende Wasserschicht („Unstirred Water Layer“) und eine darunter folgende, mit Mucus bedeckte Zellschicht des ihn auskleidenden Epithels Fremdkörper

von der Aufnahme in den Körper abhalten kann, sodass diese nach der Passage des gesamten Magen-Darm-Traktes wieder ausgeschieden werden. Darunter folgen weitere Gewebeschichten sowie die Basalmembran. Die Biomoleküle des Epithels stellen eine chemische Barriere dar, die zwischen wasserlöslichen und -unlöslichen Fremdstoffen unterscheidet. Zusätzlich gibt es noch eine immunologische Barriere. Diese bewirkt zum Beispiel den Abtransport von Fremdstoffen durch Immunzellen (Noack et al. 2018). Die fremdstoffmetabolisierenden Enzyme bilden mit den Transportbiomolekülen des Darmepithels und der Leber eine metabolisch-biochemische Barriere. Diese dient letztlich der Entgiftung des Körpers durch Verstoffwechslung und Ausscheidung unerwünschter Fremdstoffe. Diese können dennoch eine toxische Wirkung entfalten, die häufig in Form von oxidativem Stress durch das vermehrte Auftreten

ABBILDUNG I
Schematische Darstellung der oralen Aufnahme von Mikroplastik sowie deren Exposition über die intestinale Barriere. Quelle: BfR.



reaktiver Sauerstoffradikale entsteht. Es können Entzündungsreaktionen angeregt und körperinterne Signalwege beeinflusst werden.

Aufgrund mangelnder Datenlage kann eine zusammenfassende Bewertung der Wirkung von Mikroplastik auf die intestinale Barriere sowie eine abschließende Risikobewertung aktuell noch nicht erfolgen. Allerdings können die beschriebenen generellen Prinzipien der Risikobewertung auch auf Mikroplastik angewandt werden.

ANSÄTZE ZUR KLÄRUNG OFFENER FRAGEN

Zahlreiche Forschungseinrichtungen beschäftigen sich mit der Entstehung, Verteilung und Wirkung von Mikroplastik in der Umwelt sowie in Futter- und Lebensmitteln und dem Menschen. Auch das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) befasst sich auf diversen Ebenen mit diesem Thema. Neben mehreren forschenden Fachgruppen verschiedener Abteilungen gibt es auch übergreifende Arbeitsgruppen, wie die Arbeitsgruppe Mikroplastik. Zu den verschiedenen Forschungsschwerpunkten gehören die Materialcharakterisierung und -quantifizierung, die Untersuchung der Aufnahme von Mikroplastik in den Körper, beispielsweise über die gastrointestinale Barriere und die Aufklärung der Wirkungsweise von Mikroplastik auf die menschlichen Zellen.

Dabei gibt es große Herausforderungen. Plastik ist nicht gleich Plastik. Die Partikel unterscheiden sich in ihrer Größe, Form, der Materialzusammensetzung, Dichte und der Häufigkeit ihres Vorkommens. Typische, weit verbreitete Plastikmaterialien sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyvinylchlorid (PVC) aber auch das häufig in Ein- und Mehrwegflaschen vorkommende Polyethylenterephthalat (PET) sowie das Polystyrol (PS). Die Quantifizierung von Mikroplastik ist weiterhin schwie-

rig, da auch unter Laborbedingungen eine komplette Vermeidung eines natürlichen Hintergrundaufkommens kaum möglich erscheint.

Die meisten wissenschaftlichen Daten gibt es aktuell zu Polystyrol. Dies hat verschiedene Gründe. Zum einen lässt sich Polystyrol aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung leicht herstellen. Dabei können Größe, Form und Größenverteilung der Partikel gut kontrolliert werden, sodass viele Partikel mit einer gut definierten Größe hergestellt werden können. Polystyrol lässt sich zudem mit Fluoreszenzfarbstoffen markieren, um es später mittels fluoreszenzbasierter Methoden, wie der Fluoreszenzmikroskopie detektieren zu können.

Bei anderen Plastikmaterialien gestaltet sich all dies weitaus schwieriger, obwohl diese Materialien wesentlich häufiger in der Umwelt und damit als Kontaminante für den Menschen vorkommen. Dies stellt Forscher vor die Herausforderung, dass für die relevanteren Materialien oft auf Pulver und Granulate mit breiter Größenverteilung zurückgegriffen werden muss. Damit kann anschließend aus den Ergebnissen keine Aussage zum Einfluss der Größe auf die Aufnahme oder Wirkung getroffen werden, und es bleibt unklar, ob kleinere oder größere Partikel problematischer sind.

Weiterhin ist eine Detektion unmarkierter Partikel im Gewebe eine große Herausforderung. Auch die Materialdichte hat einen Einfluss auf den Aufbau und die Durchführbarkeit von wissenschaftlichen Experimenten. So erfordert beispielsweise die Untersuchung von Polypropylen oder Polyvinylchlorid, die eine Dichte kleiner als Wasser haben können, neue experimentelle Ansätze für deren Einsatz in Zellkultursystemen, bei Lichtstreuungsuntersuchungen oder für die Verwendung von gängigen Zentrifugationsmethoden.

FAZIT

Mikroplastik hat in den vergangenen Jahren in der öffentlichen Wahrnehmung zunehmend an Bedeutung gewonnen und es wurde gezeigt, dass es auf verschiedenen Wegen in die menschliche Nahrung gelangt. Aktuell liegen noch nicht ausreichende wissenschaftliche Daten vor, um eine zusammenfassende Risikobewertung durchführen zu können. Jedoch lassen sich die grundlegenden Prinzipien der Risikobewertung auch auf Mikroplastik anwenden. Um die bestehenden offenen Fragen klären zu können, müssen analytische Techniken verbessert werden, um Mikroplastik physikochemisch charakterisieren, in Lebensmitteln quantifizieren und in Laborversuchen anwenden zu können. Einen wichtigen Schwerpunkt stellen Visualisierungstechniken dar, damit Mikroplastik auch in biologischen Medien, wie zum Beispiel der Lebensmittelmatrix oder auch in menschlichen Zellen, detektiert werden kann.

Um Mikroplastik auch in realen Umweltproben analysieren zu können, müssen Aufreinigungs- und Trennverfahren entwickelt werden. Letztlich können durch Mikroplastik verursachte, zelluläre Effekte gemessen werden, um die Wirkmechanismen von Mikroplastik zu verstehen. Im Falle dass Mikroplastik vom Körper aufgenommen wird und der Verdacht besteht, dass es Effekte im Menschen auslösen kann, werden auch klassische toxikologische Ansätze zur Risikocharakterisierung notwendig. Es ist zu vermuten, dass sich der Erkenntnisstand zu Mikroplastik in den kommenden Jahren deutlich weiterentwickeln wird und somit zukünftig eine bessere Bewertung der potenziellen Risiken, die von Mikroplastik in Lebensmitteln ausgehen könnten, ermöglicht wird. ●

LITERATUR

Bouwmeester H, Hollman PC, Peters RJ (2015): Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environ Sci Technol* 49: 8932–47.

EFSA – European Food Safety Authority (2016): Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal*, 14: e04501.

Noack A, Gericke B, Von Kockritz-Blickwede M et al. (2018): Mechanism of drug extrusion by brain endothelial cells via lysosomal drug trapping and disposal by neutrophils. *Proc Natl Acad Sci U S A* 115: E9590–e9599.

Welle F, Franz R (2018): Microplastic in bottled natural mineral water - literature review and considerations on exposure and risk assessment. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*: 1–11.

KONTAKT

Prof. Dr. Dr. Alfonso Lampen
Bundesinstitut für Risikobewertung
Abteilung Lebensmittelsicherheit
Max-Dohrn-Str. 8–10
10589 Berlin

[BfR]