

2019

Ernst & Sohn Special

April 2019
A 61029

Regenwasser- Management

Dezentrale Regenwassermaßnahmen für Gebäude,
Grundstücke und Verkehrsflächen



- Die Evolution ist ziellos, Fortschritt ist nicht immer „sinnvoll“ – Kulturtechnik – Alte und neue Aufgaben und Ziele
- Neue Regelungen für Siedlungsabflüsse bei Regenwetter
- Technische Normen oder „sachverständiges Bauen“?
- Vom 3. Mann ins 3. Jahrtausend – Innovatives Regenwassermanagement in Wien
- Intelligente Steuerung von Retentionsspeichern in Gründächern zur Maximierung der Verdunstung und des Überflutungsschutzes im hochverdichteten urbanen Raum
- Neuer Starkregen-Check für den Kanalbetrieb – Forschungsprojekt zur kommunalen Starkregenvorsorge

Regenwasserversickerungssystem durch iro Institut auf Hochdruckspülbarkeit nach DIN 19523 getestet

Mit integrierter Filterstufe im Spülkanal Sedimente zurück halten

Mit fortschreitender baulicher Verdichtung und der steigenden Häufigkeit von Starkregenereignissen gerät die Entwässerungsinfrastruktur in den Städten zunehmend an die Grenzen ihrer Kapazität. Die Auswirkungen sind häufig nicht zu übersehen und meist mit einem kapitalen Schaden für Netzbetreiber und Bürger verbunden.

Mit dem Willen zur Reduzierung des Schadensrisikos steigt die Nachfrage nach technologischen Lösungen zur Regenwasserspeicherung. Das Entwässerungssystem wird damit zunehmend komplexer. Für den Betrieb der Netze bedeutet das jedoch auch eine Anpassung der Unterhaltungsmaßnahmen. So kommen seit einigen Jahren zur Regenwasserbewirtschaftung vermehrt Systeme zur Anwendung, die neben Sedimentations- und Abscheideanlagen auch sogenannte „Sickerboxen“ zur unterirdischen Speicherung und Versickerung des Wassers vorsehen. Obwohl die für die Vorbehandlung des Regenwassers verantwortlichen Systemkomponenten einen großen Anteil der Schmutzfracht zurückhalten, gelangt ein kleiner Teil weiterhin in die für die Speicherung und Versickerung zuständigen Anlagenteile. Sedimente können sich hier ebenfalls absetzen und verringern je nach Verschmutzungsgrad die Sickerleistung des Systems. Die „Sickerboxen“ werden daher in der Regel mit systemspezifischen Revisionsschächten und -kanälen ausgestattet. Für den Anlagenbetreiber, der für die Wartung verantwortlich ist, stellt sich damit die Frage nach der Spülbarkeit bzw. Wartungskomplexität der Anlagen.

Sedimente zurück halten

Aus diesem Grund wurde das Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg (iro) erstmalig mit der Durchführung von Reinigungsversuchen an einem Regenwasserversickerungssystem beauftragt. Bei dem Prüfmuster handelt es sich um die sogenannte Enregis/Controlbox der ENREGIS GmbH aus Sundern. Die Box fungiert als Systemverteiler, indem über eine Filterstufe die Sedimente zurückgehalten werden, ehe das Wasser in die angrenzenden „Sickerboxen“ gelangt. Die



Bild 1. ENREGIS/Controlbox mit umgebender Filterstufe im iro-Prüfstand



Bild 2. ENREGIS/Controlbox® Prüfstrecke in der iro-Forschungshalle (Abb.: iro Institut)

Sedimente können somit in der Box zurückgehalten und über den freien Querschnitt durch Hochdruckspülung entfernt werden. Für den Nachweis der Spülbarkeit wurde die DIN 19523 herangezogen. Die darin beschriebenen Prüfungen dienen zur „Ermittlung der Hochdruckstrahlbeständigkeit und -spülfestigkeit von Rohrleitungsteilen für Abwasserleitungen und Kanälen“ und sind somit grundsätzlich auch für entsprechende Regenbewirtschaftungssysteme geeignet. Um die Wirkung des Spülstrahls auf das Material feststellen zu können, wurde zunächst an einer Controlbox mit den Abmessungen 600 mm x 600 mm die Werkstoffprüfung durchgeführt (siehe Bild 1). Bei dieser Prüfung wird im Prüfstand ein Wasserstrahl unter Einhaltung bestimmter Parameter (Spülstrahlleistungsdichte, Geschwindigkeit und Luft-/Wassertemperaturen) mehrfach gezielt über die Oberfläche des Prüfmusters geführt. Die Controlbox inkl. der speziellen Filterstufe zeigten nach der Prüfung keine Schäden. Zudem konnte mit der Durchführung weiterer orientierender Leistungssteigerungsversuche eine deutliche Sicherheit gegenüber der geforderten Hochdruckstrahlbeständigkeit nach DIN 19523 nachgewiesen werden.

In einem zweiten Schritt erfolgte die Praxisprüfung. Hierfür wurde in Anlehnung an DIN 19523 seitens des Herstellers eine Versuchsstrecke von 15 m in der iro-Forschungshalle aufgebaut (siehe Bild 2).

Mit der autarken iro-Prüfeinheit (es wird kein extra Spülfahrzeug verwendet) wurde gemäß DIN 19523 eine Rundumstrahldüse 60mal unter Einhaltung der vorgegebenen Parameter (Spülstrahlleistungsdichte, Geschwindigkeit und Luft-/Wassertemperaturen) durch die Versuchsstrecke gefahren. Damit simuliert die Praxisprüfung neben der wiederkehrenden Belastung durch den Spülstrahl auch die mechanischen Wirkungen resultierend aus dem Düsenkörper und Spülschlauch. Das Ergebnis der Praxisprüfung war

ebenfalls positiv zu werten. Weder an der Controlbox selbst noch an der umgebenden Filterstufe wurden nach der Prüfung Schäden festgestellt. Die Hochdruckstrahlbeständigkeit und -spülfestigkeit der ENREGIS/Controlbox® gem. den Vorgaben der DIN 19523 ist damit uneingeschränkt nachgewiesen. Für den verantwortlichen Betreiber dieser

Anlagen bedeutet das Ergebnis ein hohes Maß an Sicherheit bei künftigen Reinigungsmaßnahmen.

Mike Böge, iro GmbH Oldenburg

www.iro-online.de

Moderner Raum für Zeitgeschichte

Ludwig Erhard Zentrum

Die Stadt Fürth ist um ein Wahrzeichen reicher: Mit dem Ludwig Erhard Zentrum erinnert sie an einen ihrer berühmtesten Söhne. Der geradlinig modern gestaltete Neubau befindet sich direkt neben dem historischen Rathaus und fügt sich gut in das Stadtbild ein. Er besitzt zwei Dachterrassen und einen Eingangsbereich, die es zu entwässern gilt.

Mit ihrem Neubau errichteten die „Reinhard Bauer Architekten“ aus München dem „Vater des deutschen Wirtschaftswunders“ – Ludwig Erhard – ein Denkmal. Optisch setzt sich das Gebäude aus vier leicht versetzten Kuben zusammen. In Höhe und Breite orientiert es sich an der vorherigen Bausubstanz und bildet gemeinsam mit dem historischen Rathaus ein gelungenes Gesamtensemble. Ein geschosshohes Fenster in der Mitte der Eingangsseite gewährt einen Blick auf das gegenüberliegende Geburtshaus des Begründers der sozialen Marktwirtschaft.

Über den Dächern der Stadt

Der erste Stock beherbergt eine Dauerausstellung. Eine Etage darüber befinden sich weitere Veranstaltungsräumlichkeiten. Insgesamt zeichnet sich das Gebäude durch einen musealen Charakter aus, wobei seine klare Innen-



Bild 2. Trotz seiner modernen Formensprache fügt sich das Gebäude direkt neben dem historischen Rathaus gut in das Stadtbild ein. Dafür sorgen Details wie die farbliche Anpassung des Sichtbetons, der mit Sandsteinstaub eingefärbt wurde.

organisation den Besucher zu Exponaten, Inszenierungen und interaktiven Stationen führt. Das Dachgeschoss dient als Tagungs- und Begegnungsstätte. Es besitzt großzügige Dachterrassenflächen, dank der die Räumlichkeiten nach außen hin erweitert werden. Sowohl die in nordwestlicher Richtung zum Obstmarkt ausgerichtete Loggia als auch der atriumgleiche Innenhof gewähren luftige Ausblicke auf die Dachlandschaft Fürths. Auch hier überzeugt der massive Bau durch sein großzügiges Raumangebot mit durchdachter Aufteilung.



Bild 1. Im Stadtzentrum Fürths ist ein neues Wahrzeichen entstanden. Das Ludwig Erhard Zentrum erinnert mit einer Dauerausstellung an den „Vater des deutschen Wirtschaftswunders“. Der moderne Neubau setzt sich aus vier leicht versetzten Kuben zusammen.



Bild 3. Großzügige Terrassenflächen erweitern die Erlebniswelt. Sowohl die Loggia als auch der atriumgleiche Innenhof gewähren einen Ausblick auf die Dachlandschaft Fürths. Für die Außenbereiche war eine durchdachte Entwässerungslösung gefragt.

- [2] Karutz, H.; Geier, W.; Mitschke, T. (Hrsg.): Bevölkerungsschutz – Notfallvorsorge und Krisenmanagement in Theorie und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017.
- [3] Uth, H.-J. (Hrsg.): Krisenmanagement bei Störfällen – Vorsorge und Abwehr der Gefahren durch chemische Stoffe. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1994.
- [4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement“. Deutsche Fassung EN 752:2017. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Juli 2017.
- [5] Salomon, M.; Schlüter, M.: Umgang mit Starkregenereignissen im Kanalbetrieb – Starkregen-Check Kanalbetrieb. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, gefördert durch Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MULNV NRW), vsl. 06/2019.

*Mirko Salomon, M.Sc. und Dipl.-Ing. Marco Schlüter,
IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur*

www.ikt.de

Hochbelastetes Mikroplastik und Gummiabrieb in Straßenabläufen

Filtersysteme im Test



Hochbelastete Plastikpartikel von Straßen und Autobahnen gelangen über die Wasserwege in die Meere und in die Nahrungskette, an deren Spitze der Mensch steht. Das Labor für Umweltverfahrenstechnik der Fachhochschule Südwestfalen in Meschede unter der Leitung von Prof. Dr. Ing. Claus Schuster und Andre Gerwens vom Technikum der Enregis GmbH aus Sundern haben sich wissenschaftlich mit dem Problem auseinandergesetzt und zeigen Lösungen auf.

Der Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt und auch in aquatische Ökosysteme ist in letzter Zeit stark in den Focus von Wissenschaft und Öffentlichkeit gerückt. Dabei wird häufig der sehr langsame Abbau der Plastikpartikel in der Umwelt und als Folge dessen insbesondere ein Eintrag von Mikroplastik in die unterschiedlichsten Nahrungsketten diskutiert. Unter Mikroplastik werden Kunststoffpartikel mit einer Größe von 0,001–5 mm verstanden. Im Detail wird dann weiter zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik unterschieden. Unter primärem Mikroplastik werden Kunststoffteilchen verstanden, die gezielt hergestellt werden. Sekundäres Mikroplastik entsteht hingegen durch chemische- und physikalische Alterungs- und Zerfallsprozesse (Mitteilung des BFR). Dabei zerfallen dann größere Plastikteilchen nach und nach in immer feinere Mikroplastikpartikel.

Wenn Mikroplastik ins Meer gelangt

Gelangen primäre und sekundäre Partikel z. B. über die Wasserwege in die Meere, kann dieser Umstand insbesondere bei Meereslebewesen dazu führen, dass die Plastikteilchen mit Nahrung verwechselt werden, was im schlimmsten Fall zu einem Verschluss des Verdauungstraktes oder zu inneren Verletzungen führen kann. Im weiteren Verlauf

kann es durch die Aufnahme dieser Partikel zu einer Akkumulation von Mikroplastik in der menschlichen Nahrungskette kommen (Schuhen et al. 2018). Neben dieser Aufnahme von Mikroplastik als Fremdstoff durch die Nahrungsaufnahme bestehen weitere Gefahren durch Mikroplastik in den verwendeten Additiven und durch die Adsorptionsfähigkeit von Schadstoffen an den Oberflächen der Plastikpartikel. So können sich Additive, die den Kunststoffen während der Fertigung zugeben werden, in einem Gewässer, aber auch in einem tierischen Verdauungstrakt herauslösen. So gelangen zum Beispiel Phtalate, welche als Weichmacher z. B. im Werkstoff PVC Verwendung finden, nach der Freisetzung in den natürlichen Kreislauf. Einige dieser Weichmacher stehen im Verdacht, nicht nur eine hormonartige Wirkung zu haben und sind somit als fortpflanzungs- und hoch umweltgefährdend einzuordnen, sondern stehen darüber hinaus auch noch in Verdacht, hochgradig krebserregend zu sein. Nicht zuletzt können sich diese Additive weiter oben in der Nahrungskette akkumulieren mit der Folge einer deutlich höheren Belastung, zum Beispiel im menschlichen Organismus (ARGE Nano 2018).

Erhöhte Schadstoffkonzentration

Mikroplastikteile neigen außerdem dazu, dass sich gefährliche Stoffe, wie zum Beispiel PCB, DDT oder auch HCH, durch adsorptive Effekte an den Plastikoberflächen anlagern. Ändern sich nun die Milieubedingungen, zum Beispiel durch Aufnahme in den Verdauungstrakt, so können die zuvor angelagerten Stoffe wieder freigesetzt werden. Dabei entstehen um ein Vielfaches höhere Schadstoffkonzentrationen der Mikroplastikpartikel als im umgebenden Wasser. Darüber hinaus werden neben organischen Schadstoffen an Mikroplastikpartikeln auch höhere Gehalte an Metallen, wie Aluminium, Blei, Chrom, Kupfer und Zink nachgewiesen. Im Vergleich mit natürlichen Sedimenten, die auch zu einer Anreicherung von Metallen neigen, zeigt sich, dass Mikroplastik noch deutlich höhere Schadstoffmengen aufnehmen kann. Da diese aber viel langsamer abgegeben werden, führt dies zu einer deutlich höheren Anreicherung als in natürlichen Sedimenten (Umweltbundesamt 2015). Insbesondere das sekundäre Mikroplastik, welches aufgrund chemischer- und physikalischer Alterungs- und Zerfallsprozesse entsteht, ist für einen Großteil der Mikroplastik Emissionen verantwortlich. Allein in Deutschland werden geschätzt jedes Jahr 364 000 Tonnen Mikroplastik in die Um-



Bild 1. Bestimmung absetzbare Stoffe, keine Sedimentation des Reifenabriebs



Bild 2. Versuchsaufbau in Anlehnung an ÖNORM B 2506-3 mit unterschiedlichen Substraten



Bild 3. Filterkuchen oberhalb des Substrates



Bild 4. Filtersystem ENREGIS/VIVO CRCsorp in einen Einlaufschacht eingesetzt

welt freigesetzt. Davon entfallen umgerechnet 33% auf den Kraftfahrzeug- Verkehr (Stiftung Warentest 2018). Dabei zeigen die bisher verfügbaren Daten, dass insbesondere der Abrieb von Reifen für den Eintrag von Mikroplastik aus dem Verkehrssektor auf Straßen und Autobahnen und im weiteren Verlauf in deren Abflusssysteme verantwortlich ist. Wobei die derzeitige Datenlage allerdings noch sehr dünn ist und vermehrt auf Berechnungen als auf experimentellen Untersuchungen basiert (Bertling et al. 2018).

Fragen beantworten

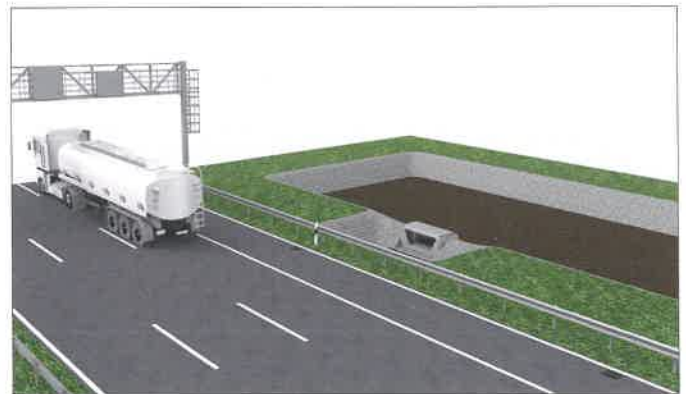
Diese Unsicherheiten in der Datenlage und Diskussionen in den Medien sorgen dafür, dass sich auf Seiten der Betreiber von dezentralen Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung weitergehende Fragestellungen bezüglich des Stoffrückhalts und der Zuverlässigkeit bestehender Systeme im Laufe des Betriebes entwickeln. Um gerade auch solche Fragen, die über den jetzigen Stand der Technik hinaus gehen, zu beantworten, stehen dem Technikum der Enregis GmbH in sauerländischen Sundern eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte, Prüfstände und Messmethoden zur Verfügung. Darüber hinaus werden diese Themen in einer Kooperation mit dem Labor für Umweltverfahrenstechnik der Fachhochschule Südwestfalen behandelt und wissenschaftlich untersucht. In der Regel werden Regen-

wasserflächenabflüsse vor Einleitung in ein Gewässer oder in das Grundwasser mittels Absetz- bzw. Sedimentationsanlagen gereinigt. So wurde unter anderem mittels Grundlagenversuchen durch die Fachhochschule ermittelt, in wie weit entsprechende Systeme des Sunderner-Unternehmens prinzipiell dazu geeignet sind, Mikroplastik zurück zu halten.

Basis für diese Laboruntersuchungen bildete fein gemahlenes Reifenmehl, da davon auszugehen ist, dass Systeme zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung mit ähnlichen Verschmutzungen – hervorgerufen durch Reifenabrieb – konfrontiert sind. In einem an die DIN 38 409 H 9-2 (siehe Bild 1) angelehnten Test zeigte sich zunächst, dass die verwendeten Reifenpartikel sich nur schwer bzw. kaum benetzen lassen und dass der deutlich überwiegende Anteil, selbst nach einer längeren Kontaktzeit von mehr als 12 Stunden, nicht sedimentiert. Auch eine erneute Durchmischung der Trichterinhalte führte kaum zu einer Verstärkung der Absetzneigung des verwendeten Materials. Einfache Sedimentationsprozesse führen somit nicht zu einem akzeptablen Rückhalt des Reifenabriebs. Nur wenn schwimmstoff- und leichtflüssigkeitsabscheidende Systemkomponenten, wie z. B. beim Enregis/Vivo Pipe System, Bestandteil einer Behandlungsverfahrenstechnik sind, kann von einem ersten, teilweisen Rückhalt in Standard Regenwasserbehandlungsanlagen ausgegangen werden.



Bild 5. ENREGIS/VIVO TRP mit nachgeschalteter Biofiltrations-Substratmulde (Fotos/Abb.: Enregis)



Nur Teilrückhalt gefordert

Leider wird in den gängigen Regelwerken (DWA M-153, ÖNORM, DIBt Zulassungsgrundsätze) auch für derartig ausgestattete Standard Regenwasserbehandlungen nur ein Teilrückhalt von absetzbaren und abfiltrierbaren Stoffen gefordert und bei der Planung und Projektierung mit Durchgangswerten von bis zu 80 % gerechnet. Zusätzlich wird der Bau von Abschlagsbauwerken und entsprechend vorgeschalteten Rückhalte- und Drosseleinrichtungen in der Praxis oft vernachlässigt, so dass die meisten Anlagen hydraulisch überlastet werden. Dadurch kann es nicht nur zum Durchlass erheblicher Schmutzfrachten kommen, sondern es besteht sogar die zusätzliche Gefahr einer Remobilisierung der zurückgehaltenen Stoffe. Um diesen Umständen entgegenzuwirken, ist eine weitere Behandlungsstufe erforderlich. Diese muss nicht nur die Feinstoffe dauerhaft zurückhalten können, sondern auch dazu in der Lage sein, die im Regenwasser aus den Mikroplastikpartikeln bereits weiter oben aufgezählten, rückgelösten organischen und anorganischen Schadstoffe nachhaltig zu entfernen bzw. zu binden. Hierfür bieten sich Filtersubstrate an, die neben ihren mechanischen Filtereigenschaften auch dazu in der Lage sind, durch Adsorption und Biofiltration gelöste Stoffe aus dem Regenwasser zu binden und langfristig abzubauen.

Wirksamkeit von verschiedenen Filtersubstraten

In diesem Zusammenhang wurde die Wirksamkeit verschiedener technischer Filtersubstrate, wie sie unter der Bezeichnung „Enregis/Biocolith“ in den Systemen des Sunderner-Unternehmens zum Einsatz kommen, untersucht (Bild 2). Als Grundlage für den Aufbau und die Durchführung der aktuellen Untersuchungen im Labor wurden verschiedene europäische Normen und Zulassungsgrundsätze herangezogen, wie z. B. die DIBt-Zulassungsgrundsätze für Regenwasserbehandlungsanlagen oder die ÖNORM B 2506-3 „Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen“. Dabei muss allerdings sichergestellt sein, dass das Reifenmehl nicht aufschwimmt, sondern in den Filterkörpern filtriert bzw. in der Stoffmatrix tatsächlich zurückgehalten wird.

Beide verwendeten Substrate zeigten im Test gute Rückhaltewirkungen von teilweise deutlich über 90 % gegenüber dem verwendeten Reifenmehl. Insbesondere beim getesteten Enregis/Biocolith K konnte eine ausgeprägte Filterkuchenbildung beobachtet werden (siehe Bild 3). Bei dem parallel getesteten Enregis/Biocolith MR-F1/-F2 Substrat hingegen war eine deutliche Tiefenfiltration, also eine Abscheidung des Reifenmehls im Filterkörper, festzustellen.

Neben dem guten mechanischen Rückhalt der Mikroplastikpartikel kann aufgrund der bereits vorliegenden positiven Erfahrung bezüglich Rückhalt und Elimination gelöster Stoffe in einer Vielzahl anderer Anwendungen auch hier von einem hohen Wirkungsgrad ausgegangen werden. Diese Schlussfolgerung muss im Rahmen der Langzeituntersuchungen bestätigt werden.

Die Tests belegen

Die durchgeführten und beschriebenen Tests belegen aber bereits jetzt, dass die getesteten Systeme zur Niederschlags-

wasserbehandlung auch Mikroplastikpartikel und deren Anhaftungen wirksam zurückhalten. Zur schnellen und einfachen Nachrüstung bestehender, oder zur Ausrüstung neuer Einlaufschächte eignet sich zum Beispiel das praxisbewährte und direkt mit einer Substratfilterstufe ausgestattete System Enregis/Vivo CRCsorp, um Mikroplastik wirksam aus dem Niederschlagswasser von Straßenabläufen zu entfernen (Bild 4).

Komplexere Flächenanforderungen und besonders hohe Nominalleistungen, z. B. für hochbelastete Straßen- und Autobahnflächen, bewältigen bereits heute Enregis/Vivo TRP Anlagen (Bild 5) in Kombination mit nachgeschalteten Filtersubstratmulden.

Die technischen Filtersubstrate gewährleisten die Anlagerung sowie Festsetzung der Feinstpartikel und verhindern gleichzeitig deren Ausschwemmung. Auch nehmen sie durch ihre hohe Adsorptionsfähigkeit und die Biofiltrationsfunktion beim Abbau der angelagerten Stoffe freigesetzte Substanzen auf – eine Eigenschaft, die in diesem Umfang über die aktuellen Anforderungen für eine Zulassung nach DIBt oder auch nach ÖNORM sogar hinaus geht.

Literatur

- ARGE Nano (2018): Mikro Kunststoffe. Grundlagen und Sachstand. Unter Mitarbeit von Gerhard Ott, Ulrich Wurster und Jürgen Zipperle. Hg. v. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/254486/?shop=true&shopView=6644>, zuletzt geprüft am 08.03.2019.
- Bertling, Jürgen; Bertling, Ralf; Harmann Leandra (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkung, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie. Hg. v. UMSICHT. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik. Oberhausen.
- BFR: Fragen und Antworten zu Mikroplastik. FAQ des BFR vom 1. Dezember 2014. Online verfügbar unter <https://www.bfr.bund.de/cm/343/fragen-und-antworten-zu-mikroplastik.pdf>, zuletzt geprüft am 08.03.2019.
- Schuhlen, Katrin; Sturm, Michael Toni; Kluczka, Sven; Wilde, Axel; Wasser 3.0 / abcr GmbH; Anasysta e.K. (2018): Detektion von Mikroplastik. Hg. v. Analytik News. Online verfügbar unter <https://www.analytik-news.de/Fachartikel/Volltext/wasserdreieinnull1.pdf>, zuletzt geprüft am 08.03.2019.
- Stiftung Warentest (2018): Mikroplastik. Wie gefährlich sind winzige Kunststoffteilchen. Hg. v. Stiftung Warentest. Online verfügbar unter <https://www.test.de/Mikroplastik-Wie-gefaehrlich-sind-die-winzigen-Kunststoffteilchen-4817845-0/>, zuletzt geprüft am 08.03.2019.
- Umweltbundesamt (2015): Mikroplastik in der Umwelt. Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf. Unter Mitarbeit von Bettina Liebmann, Heike Brielmann, Holger Heinfellner, Philipp Hohenblum, Sebastian Köppel und Stefan Schaden. Hg. v. Umweltbundesamt GmbH. Wien. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0550.pdf>, zuletzt geprüft am 08.03.2019.

*Prof. Dr.-Ing. Claus Schuster,
Fachhochschule Südwestfalen, Meschede*