

Mikroschadstoffe im Regenwasser: Erkenntnisse und Behandlungsmöglichkeiten

Prof. Dr. Michael Burkhardt

Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC), HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, Schweiz

E-Mail: michael.burkhardt@hsr.ch

ZUSAMMENFASSUNG

Zahlreiche Spurenstoffe gelangen mit dem Niederschlagswasser in Boden und Gewässer. Als eine Quelle für urbane Spurenstoffe gelten Gebäudehüllen, aus denen bei Regenwetter Stoffe ausgewaschen werden. Mit der Kenntnis von den wesentlichen Stoffquellen und der Freisetzungsdynamik lassen sich Maßnahmen an der Quelle und nachgeschaltet umsetzen. Zu den quellenorientierten Maßnahmen zählen die Stoffsubstitution und Entwicklung auswaschreduzierter Produkte. Für die Regenwasserbehandlung wurde in der Schweiz eine Methodik erarbeitet, um Spurenstoffe wirkungsvoll zurückzuhalten.

1 EINLEITUNG

Zahllose anorganische und organische Stoffe gelangen durch die tägliche Anwendungspraxis mit dem Schmutz- oder Regenwasser in die Umwelt. Zusammengefasst werden organische Stoffe aus der Gruppe der Arzneimittel, Pflanzenschutzmittel, Biozidprodukte und Industriechemikalien als sog. "Spurenstoffe" oder "Mikroverunreinigungen". Der Eintrag von Spurenstoffen in die Gewässer erfolgt punktuell über Kläranlagen und diffus aus Siedlungen, Verkehr und Landwirtschaft [Wittmer et al. 2011, Clara et al. 2014, DWA 2016]. Zu den diffusen urbanen Eintragungswegen zählen die Mischwasserentlastung, Versickerung und Direkteinleitung via Trennsystem (Abb. 1). Gelangen Spurenstoffe ins abfließende Niederschlagswasser, so wird meist unbehandelt in die urbanen Gewässer eingeleitet.

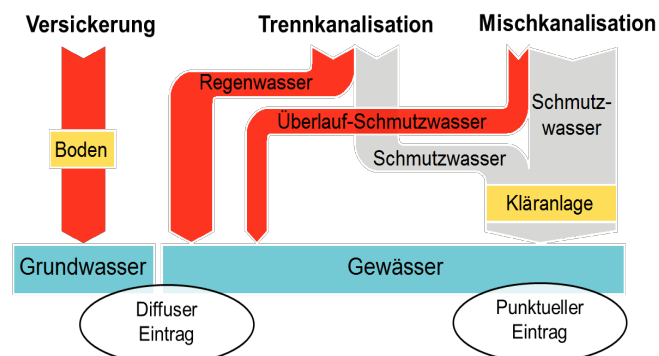


Bild 1: Eintragswege aus Siedlungen in die Gewässer.

Insbesondere im Baubereich werden vermehrt Additive eingesetzt, um den wachsenden Anforderungen der Kunden (Bauherren, Architekten) nach günstigen und leicht zu verarbeitenden Produkte gerecht zu werden. Wassermobilisierbare Stoffe sind beispielsweise:

- Biozide in Aussenputzen und Dach- und Fassadenfarben (z.B. Carbendazim, Terbutryn, Diuron, Isoproturon)
- Durchwurzelungsschutzmittel in Bitumendachbahnen (Mecoprop-P, MCPA)
- Weichmacher in PVC-Kunststoffbahnen (z.B. DIDP, DEHP)
- Vulkanisationsbeschleuniger in EPDM-Dichtungsbahnen (Benzothiazol, Zink)
- Biozide in Holzschutzmitteln (z.B. Dichlofluanid, Permethrin, Propiconazol)
- Betonzusatzmittel in Beton (z.B. Fließmittel Naphthalinsulfonatkondensate)
- Härter in Epoxidharzen für Korrosionsschutzbeschichtungen (z.B. Bisphenol A)
- Flammschutzmittel in Dichtungsbahnen (Organophosphate TBEP und TCPP)

Die Dauerhaftigkeit, ausgedrückt als Lebensdauer in Stoffbilanzen oder Lebenszyklusbetrachtungen, spielt hierbei eher eine untergeordnete Rolle. Durch die Stoffeigenschaften und die intensive Exposition der Witterung verbindet sich eine Alterung der Materialien, einhergehend mit der Freisetzung von Stoffen in den urbanen Wasserkreislauf [Burkhardt et al. 2011, Kasser et al. 2015].

Die Exposition und möglichen Umweltrisiken der meisten Stoffe in Bauprodukten sollten unter REACH, der EU-Biozidrichtlinie (BPR) und der EU-Bauprodukterichtlinie (CPR) abgeschätzt werden. Insgesamt ist das Wissen zur Freisetzung ins Abwasser aber sehr begrenzt, weil die Stoffe im berechneten Baumaterial häufig nicht bekannt und die Überwachungsprogramme in Gewässern überwiegend auf andere Eintragswege und Parameter ausgerichtet sind.

Um die Einträge zu reduzieren, sind Maßnahmen an der Quelle (source-control) oder nachgeschaltet (end-of-pipe) vielversprechend [Fuchs et al. 2017]. Maßnahmen an der Quelle sind regulatorischer (z.B. durch Information, Auflagen, Verbote) oder technischer Art (z.B. Produktveränderungen). Maßnahmen an der Quelle lassen sich aber schwer umsetzen, weil die involvierten Akteure andere Prioritäten setzen. Nachhaltiges Bauen wird häufig mit energetisch optimierten gleichgesetzt, sodass weder Handlungsdruck, noch effektive Anreize für Produktverbesserungen bestehen.

2 VORKOMMEN VON STOFFEN IM REGENWASSER UND GEWÄSSERN

2.1 Gewässer

Vielen urbanen Quellen ist gemeinsam, dass die Stoffe nur bei Regenwetter freigesetzt werden und diese in kleinen Vorflutern zu lokalen und zeitlich begrenzten Stoßbelastungen führen [Bollmann et al. 2014, Wicke et al. 2016]. Die Belastungsschwerpunkte hängen mit den Eintragswegen, der Nutzung und dem Alter der Siedlungsstruktur zusammen. So gelangen beispielsweise bei Regenwetter verschiedene Stoffe aus Bauprodukten über die Siedlungsentwässerung in die Gewässer (Abb. 2) [Sinniger et al. 2012].

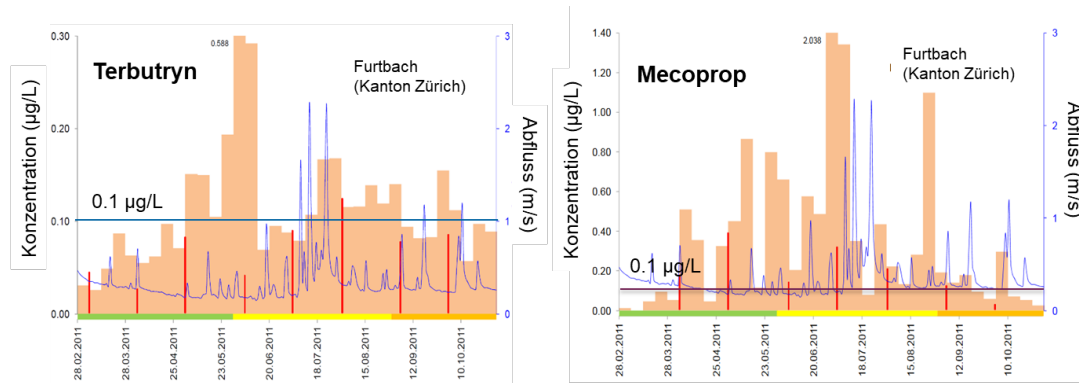


Bild 2: Vorkommen von Terbutryn bei Regen- und Trockenwetter (links, Produktions- und Malereiabwasser sowie Fassadenwasser) und von Mecoprop vor allem bei Regenwetter (rechts; durch Dachbahnen, evtl. Golfplatz) [Sinniger et al. 2012].

In welchem Umfang die mit dem Regenwasser emittierten Stoffe auch ins Grundwasser von Siedlungsräumen gelangen, lässt sich noch schwer abschätzen, da Grundwasser selten darauf ausgelegt sind. Im Bereich von Regenwasserversickerungsanlagen kann es zum Übertritt ins Grundwasser kommen [Lange et al. 2017]. In der Schweiz ergab die systematische Auswertung von Grundwassermessstellen im Siedlungsraum von Basel, dass z. B. Diuron, ein Biozid in Beschichtungsprodukten, an einigen Messstellen im oberflächennahen Grundwasser vorkommt [Burkhardt und Hodel, 2019]. Die Gebäude im Einzugsgebiet weisen auf einen Eintrag durch versickertes Niederschlagswasser hin.

2.2 Fassadenbeschichtungen

Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) stellen ein Klebe-, Montage- und Beschichtungssystem dar. Die Dämmung wird mit einem Unterputz und einer 2-3 mm dicken Schlussbeschichtung (Putz, Farbe) abgedeckt. Bei WDVS kommt es an den Oberflächen häufig zur Kondensatbildung. Außerdem gelangt der Regen auf Fassaden als sogenannter "Schlagregen". Windrichtung und -geschwindigkeit sind für die Abflussmenge an der Fassade von entscheidender Bedeutung.

Solche Oberflächen werden durch Biozide (Filmschutzmitteln) bewuchshemmend ausgerüstet, die gemäß Biozidverordnung (Richtlinie 98/8/EG) angewendet werden dürfen. Die Filmkonservierung soll verhindern, dass die Oberfläche von Algen oder Pilze befallen wird. Zur Erreichung einer Schutzwirkung werden zwei bis vier Wirkstoffe in Konzentrationen von je ca. 500–6000 mg/m² zugesetzt. Bekannt sind Terbutryn, Diuron und Isoproturon und als Fungizide Octylisothiazolinon (OIT), Dichloroethylisothiazolinon (DCOIT), Zinkpyrithion, Carbendazim und IPBC. In Deutschland kommen in 248'000 t/a Putz/Farbe rund 250-400 t/a Biozide zur Anwendung [Burkhardt et al. 2015].

Da Biozide wasserlöslich sind, werden sie mit dem Regenwasser ausgewaschen [Kahle et al., 2009; Burkhardt et al., 2012]. Untersuchungen zeigen, dass die Stofffracht an neuen Beschichtungen besonders hoch ist und anschließend stark sinkt. In einer zweijährigen Felduntersuchung bei Zürich wurden der Konzentrationsverlauf und die Austragsmengen von

Terbutryn bilanziert, nachdem der Wirkstoff in verkapselter Form mit Fassadenputz aufgebracht wurde (Abb. 3). Die Konzentrationen im Fassadenabfluss lagen zu Beginn bei rund 1 mg/L und waren damit um Faktor 5 bis 10 niedriger als bei nicht verkapseltem Terbutryn. Die Austragsmenge umfasste nach zwei Jahren rund 1.6 % der eingesetzten verkapselten Biozidmenge.

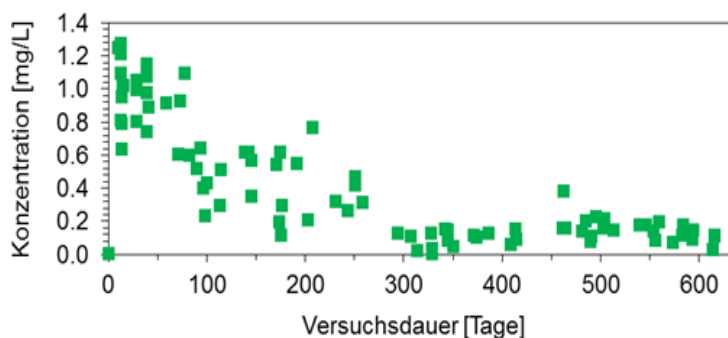


Bild 3: Auswaschung von verkapseltem Terbutryn über 2 Jahre Versuchsdauer.

Auf Grundlage der Felddaten wurde die mögliche Auswaschung von Terbutryn für drei Gebäude (2.5, 7.5, 21 m Höhe) mit zeitlicher Auflösung von 1 Stunde über 20 Jahre simuliert [Tietje et al. 2018]¹. Eine logarithmische Funktion mit den Parametern aus der Feldstudie wurde eingesetzt und der Schlagregen für die Fassaden abgebildet. Entsprechend der Niederschlagsverteilung und in Abhängigkeit zur bevorzugten Windrichtung ergeben sich die höchsten Auswaschungen an der Westfassade während der ersten ein bis zwei Jahren. Die Abhängigkeit von der Expositionsrichtung ist nicht linear: eine Fassade mit doppelt so hoher Niederschlagsmenge emittiert nicht doppelt so viel Substanzmenge. Die Konzentrationen von Terbutryn in einem kleinen Bach mit 50 L/s Abfluss überschreiten den Anforderungswert von 0.1 µg/L pro Pestizid im Fließgewässer.

2.2 Wurzelfeste Bitumenbahnen

In wurzelfesten Bitumenbahnen werden chemische Durchwurzelungsschutzmittel, in der Regel Ester der Wirkstoffe Mecoprop (MCP), Mecoprop-P (MCP-P) und 2-Methyl-4-chlorphenoxy-essigsäure (MCPA) mit ca. 10-20 g/m² eingesetzt. Gekennzeichnet sind auf Wurzelfestigkeit geprüfte Produkte mit „WF“. Mit abfließendem Niederschlagswasser gelangen die Wirkstoffe via Regenwasserkanal oder Mischwasserüberläufe ins Oberflächengewässer. Über Versickerungen sind Einträge ins Grundwasser zu erwarten, wie Messstellen in Basel zeigten [Burkhardt und Hodel 2019].

Zur Erfassung der Auswaschung von Bitumenbahnen wird in der Schweiz ein europaweit harmonisierter Labortest empfohlen (Horizontale dynamische Oberflächenauslaugprüfung DSLT, DIN CEN/TS 16637-2:2014) [BAFU, 2017]. Auf Grundlage der Laborergebnisse wird eine Zuordnung zu den Belastungsklassen gering, mittel und hoch vorgenommen (Abb. 4).

¹ Software: www.comleam.ch

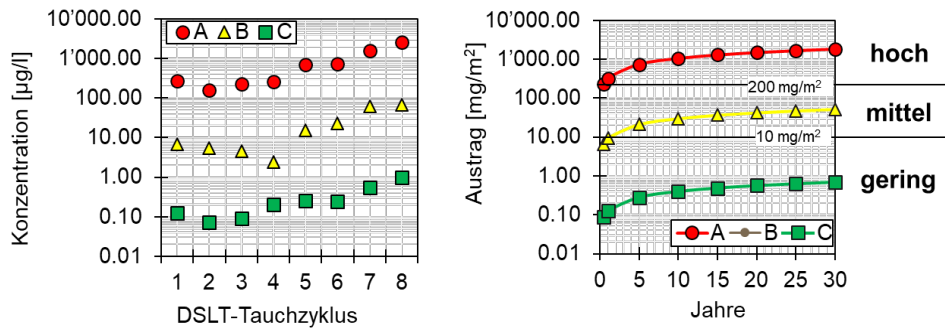


Bild 4: Auswaschresultate für drei Bitumenbahnen ermittelt mit dem DSLT (links) und extrapoliert auf 30 Jahre Nutzungsdauer (rechts) (BAFU, 2017).

Die drei Belastungsklassen orientieren sich an der neuen Schweizer VSA-Richtlinie zur Regenwasserbewirtschaftung [VSAa 2019]. Bei hoher Auswaschung (Belastungsklasse „hoch“: $>200 \text{ mg/m}^2$ in 30 Jahren) ist das Niederschlagswasser in der Kläranlage oder vorm Versickern dezentral mit nachweislich hoch wirksamen Adsorbersubstrat zu behandeln. Heutige Bitumenbahnen führen in der Regel zu einer mittleren Belastung des Niederschlagswassers ($10\text{-}200 \text{ mg/m}^2$ in 30 Jahren). Niederschlagswasser von Bitumenbahnen, welches als „mittel“ belastet gilt, ist vor der Einleitung in ein oberirdisches Gewässer durch eine für den Stoffrückhalt geeignete mikrobiell aktive Bodenschicht oder Adsorber mit mindestens ebenbürtiger Reinigungswirkung zu versickern. Niederschlagswasser von Bitumenbahnen mit geringer Belastung ($< 10 \text{ mg/m}^2$ in 30 Jahren) kann ohne Maßnahmen versickert oder in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet werden. Für Planer und Bauherren, aber auch die Hersteller, erweisen sich demnach innovative, auswaschreduzierte Produkte auch als wirtschaftlich vorteilhaft.

2.2 Maßnahme Regenwasserbehandlung

Belastetes Regenwasser ist vor der Versickerung oder Einleitung ins Oberflächengewässer zu behandeln. Eine solche nachgeschaltete Behandlungsmaßnahme wird als „end-of-pipe“ bezeichnet. Dafür geeignete Böden müssen eine hohe Wasserleitfähigkeit und eine hohe mikrobielle Aktivität aufweisen [Burkhardt, 2016].

Vor dem Hintergrund der hydraulischen Limitierung und der beschränkten Wirkung traditioneller Bodenfilter beim Rückhalt organischer Spurenstoffe und fehlender Flächen im innerstädtischen Bereich, haben technische Regenwasserbehandlungsanlagen in Schweiz für den Boden- und Gewässerschutz an Bedeutung gewonnen. Dieser Entwicklung wird in der Schweiz mit der neuen VSA-Richtlinie und dem Merkblatt „VSA-Leistungsprüfung für Behandlungsanlagen“ Rechnung getragen, gemäß derer Dach-, Fassaden-, Platz- und Straßenwasser mit Adsorberanlagen behandelt werden kann [VSA 2019a, VSA 2019b]. In einem zweistufigen Verfahren, einem Labortest und Felduntersuchungen an zwei Standorten, wird die Leistungsfähigkeit für die abfiltrierbaren Stoffe (AFS), die Schwermetalle Kupfer und Zink, sowie die Pestizide Mecoprop und Diuron untersucht. Der Hersteller legt dabei den Einsatzbereich und damit die zu testende Stoffkombination fest. Bis heute werden Regenwasserbehandlungsanlagen auf im Regenwasserabfluss omnipräsente Spurenstoffe

selten untersucht. Deshalb ist die Leistungsfähigkeit bestehender technischer Regenwasserbehandlungsanlagen zur Entfernung organischer Spurenstoffe unter realen Betriebsbedingungen weitgehend unbekannt.

Abbildung 5 zeigt die Elimination von fünf organischen Spurenstoffen aus dem Regenwasserabfluss im Einzugsgebiet bei Bern (Burkhardt et al. 2017). Der Mischadsorber erreichte im Mittel 80 % Rückhalt von Carbendazim und Diuron, beides vergleichsweise gut adsorbierende Pestizide (unpolar), und 50 % für die schlecht adsorbierenden Stoffe Mecoprop (eine polare Verbindung) und DEET (ein kleines Molekül). Mecoprop und DEET weisen auch einen geringen Rückhalt in Kläranlagen auf. Terbutryn lag mit 60 % Rückhalt zwischen beiden Gruppen. Über die gesamte Versuchsdauer bzw. bis heute trat keine messbare Abnahme beim Stoffrückhalt und der Wasserleitfähigkeit auf. Schlecht adsorbierenden Stoffe sind nur mit erheblichem Aufwand zu eliminieren und deshalb sollten unerwünschte Emissionen mit Maßnahmen an der Quelle reduziert werden.

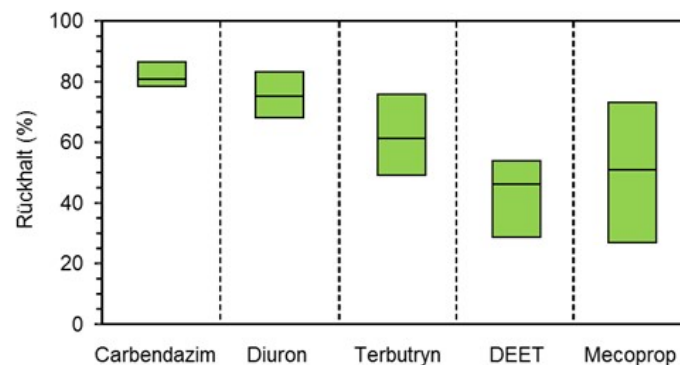


Bild 5: Rückhalt von fünf Pestiziden sowie Kupfer und Zink mit einem Mischadsorber (n = 25 Ereignisse) (Burkhardt et al. 2017).

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Generell ist bei der Planung zu klären, wie der Abfluss und die Belastung von Niederschlagsabwasser vermieden oder verringert werden können.

Eine lösungsorientierte Strategie ist gesucht, um Problemstoffe in Bauprodukten zu substituieren oder die Freisetzung zu reduzieren, sowie bei Belastungsschwerpunkten nachgeschaltete, breit wirksame Behandlungsanlagen zu etablieren. Beispiel ist das Klassierungssystem für Bitumenbahnen, welches Anreize für geringe Auswaschung setzt. Zur Entfernung von organischen Spurenstoffen aus urbanem Regenwasser kann eine Behandlung mit technischen Adsorbermaterial eine vielversprechende Alternative darstellen.

Trotz der möglichen Belastung sollte die getrennte Erfassung der Oberflächenabflüsse der Mischkanalisation vorgezogen werden, da hierbei die Verschmutzungen gezielt an der Quelle behandelt, bestenfalls durch planerische und technische Maßnahmen vermindert oder gar vermieden werden können.

4 DANKSAGUNG

Die Untersuchungen wurden vom Schweizer Bundesamt für Umwelt BAFU unterstützt. Mitgewirkt haben daran Mirko Rohr, Olaf Tietje, Florian Hochstrasser (HSR) und Armin Zenker (FHNW Fachhochschule Nordwest Schweiz).

5 LITERATUR

BAFU (2017) Information über Mecoprop in Bitumen-Dachbahnen. Schweizer Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. https://www.umtec.ch/index.php?id=6652&content=20159&id_project=2594

Bollmann, U., Vollertsen, J., Carmeliet, J., Bester, K. (2014) Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment - Concentrations, mass loads and emission processes. *Water Research* 56:66-76.

Burkhardt, M., et al. (2008) Mecoprop in Bitumenbahnen - Auswaschung von Mecoprop aus Bitumenbahnen und Vorkommen im Regenabwasser. BAFU, S. 28.

Burkhardt, M. et al. (2011) Leaching of additives from construction materials to urban storm water runoff. *Water Science & Technology*, 63(9), 1974-1982.

Burkhardt, M., Zuleeg, S., Vonbank, R., Bester, K., Boller, M., Carmeliet, J., Wangler, T.P. (2012) Leaching of Biocides from Façades under Natural Weather Conditions. *Environmental Science & Technology*, 46 (10), 5497–5503.

Burkhardt, M., Dietschweiler, C. (2015) Reduction of environmental risks from the use of biocides: Environmental sound use of disinfectants, masonry preservatives and rodenticides: Annex IV: Case study on PT 7/10: Masonry preservatives and facade paints and plaster. UBA-Texte 53, Dessau-Rosslau.

Burkhardt, M., Schmidt, S., Gohl, M., Zenker, A., Schmocker, M., Zbinden, D., Loretz, A., Bigler, R., Boller, M. (2017) Behandlung von Regenwasser - Grosstechnische Erfahrung mit unterirdischer Retention und nachgeschaltetem Adsorberfilter. *Aqua und Gas*, 4:78-85.

Burkhardt, M., Hodel, P. (2019): Abschwemmung von Metallflächen und Eintrag ins Grundwasser - Literaturrecherche und Messungen unter Berücksichtigung von drei urbanen Pestiziden. Bericht im Auftrag des Schweizer Bundesamts für Umwelt (BAFU), Rapperswil, S. 44.

Clara, M., Ertl, T., Giselsbrecht, G., Gruber, G., Hofer, T., Humer, F., Kretschmer, F., Kolla, L., Scheffknecht, C., Weiß, S., Windhofer, G. (2014) Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, Österreich.

DWA [2016]: Diffuse Stoffeinträge in Gewässer aus Siedlungs- und Verkehrsflächen. DWA-Themen, 25 S.

Fuchs et al. (2017) Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen. UBA-Texte, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.

Kahle, M., Nöh, I. (2009): Biozide in Gewässern: Eintragspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen. UBA-Texte 09, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.

Kasser, U., Savi, D., Klingler, M. (2015): Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 281 S.

Lange, J., Olsson, O., Jackisch, N., Weber, T., Hensen, B., Zieger, F., Schuetz, T., Kümmerer, K. (2017) Urbane Regenwasserversickerung als Eintragspfad für biozide Wirkstoffe in das Grundwasser? *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 10(4):198-202.

Sinniger et al. (2012) Pestiziduntersuchung. AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.

Tietje, O., Rohr, M., Burkhardt, M., Schoknecht, U., Borho, N. (2018) Emissions- und Übertragungsfunktionen für die Modellierung der Auslaugung von Bauprodukten. UBA-Texte 28, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.

VSA (2019a) Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter. Basismodul B, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Glattbrugg.

VSA (2019b) Leistungsprüfung für Adsorbermaterialien und dezentrale technische Anlagen zur Behandlung von Niederschlagswasser. Basismodul E, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Glattbrugg.

Wittmer, I., Scheidegger, R., Bader, H.-P., Singer, H., Stamm, C. (2011) Loss rates of urban biocides can exceed those of agricultural pesticides. *Science of the Total Environment*, 409:920–932.

Wicke, D., Matzinger, A., Sonnenberg, H., Caradot, H., Schubert, R.-L., Rouault, P., Heinzmann, B., Dünnbier, U., von Seggern, D. (2017) Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 5:394-404.