

Urbanes Niederschlagswasser – Belastungen abschätzen und vermeiden

Michael BURKHARDT^{1)*}, Mirko ROHR¹⁾, Daniel WICKE²⁾, Roberto TATIS-MUVDI²⁾,
Pascale ROUAULT²⁾, Patricia ZERBALL-VAN BAAR³⁾ und Uwe DÜNNBIER³⁾

¹⁾ OST – Ostschweizer Fachhochschule, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC), Oberseestraße 10, 8640 Rapperswil, Schweiz

²⁾ Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Cicerostraße 24, 10709 Berlin

³⁾ Berliner Wasserbetriebe, Neue Jüdenstraße 1, 10179 Berlin

* e-mail: michael.burkhardt@ost.ch

Kurzfassung

Bei Regenwetter können von Gebäuden verschiedene anorganische und organische Stoffe in die Gewässer gelangen. Um solche Stoffeinträge zu bilanzieren, wurden in Berlin die Stoffemissionen in zwei Untersuchungsgebieten erfasst und mittels Modellierung die Emissionsdynamik und Belastungen in Gewässern abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigen beispielsweise, dass vor allem von den Westfassaden der Wirkstoff Diuron emittiert. Obwohl im vorgestellten Untersuchungsgebiet nur 1 % der Stoffemission in den Regenkanal bzw. das Gewässer gelangt, können vor allem bei kleinen Gewässern kritische Konzentrationen auftreten. Die überwiegende Fracht verblieb im Gebiet oder versickerte. Um solche Stoffbelastungen zu vermeiden, bieten sich verschiedene Maßnahmen an der Quelle oder nachgeschaltet an. Die entwickelten Vorschläge sind für die Praxis umsetzungsorientiert ausgelegt und zielen auf Fassaden, Dächer und die Grundstücksentwässerung.

Hintergrund

Die urbane Siedlungsentwicklung schreitet rasant voran. Täglich wird neues Bauland erschlossen, bestehende Gebäude saniert oder ersetzt, sowie Abwassersysteme erstellt oder in bestehende Strukturen der Entwässerung integriert. Der Ressourcenverbrauch ist nicht nur enorm, sondern hinterlässt bei Herstellung, Nutzung und bei der Entsorgung spürbare Folgen in der Umwelt.

So können durch den Regen auf Gebäuden zahlreiche Chemikalien ausgewaschen und mit dem abfließenden Regenwasser in Gewässer eingeleitet oder versickert werden (Clara et al., 2014; Pajjens et al., 2019). Bekannt sind Stofffreisetzungen aus Dachbahnen, Holzschutzmitteln, Korrosionsbeschichtungen, Fassadenputzen und -farben. Die beispielsweise gegen den Befall von Algen und Pilzen auf Beschichtungen eingesetzten filmschützenden Biozide sind bewusst wasserlöslich, um aus der Beschichtung mit dem Wasser an die Oberfläche zu gelangen und dort zu wirken (Burkhardt et al., 2009; Burkhardt et al., 2012). Der auf Fassaden auftreffende Schlagregen und daraus resultierende Fassadenabfluss trägt solche Stoffe jedoch in die Umwelt ein.

Maßgebliche Einflussfaktoren auf die Auswaschung sind die Stoff- und Materialeigenschaften und die Wasserkontaktzeit (Niederschlag, Wind). So ist der intensive Witterungseinfluss in unseren mitteleuropäischen Breiten durch hohe Temperaturamplituden, UV-Strahlung und Niederschlagsmengen von 500 - 900 mm/a gekennzeichnet. Dadurch sind die Materialien der Gebäudehülle einer intensiven Alterung, verbunden mit einer Stoffemission, unterworfen.

Die im Regenablaufwasser vorkommenden Stoffe gelangen über verschiedene Eintragswege in die Umwelt. Der Eintrag über diffus versickerndes Niederschlagswasser am Gebäude, über Versickerungsanlagen (Bodenfilter, Mulden-Rigolen etc.), Mischwasserentlastungen bei Regenwetter oder Direkteinleitungen im Trennsystem führt dazu, dass Gewässer belastet werden können (Wittmer et al., 2011). Bei der direkten Ableitung des Regenabflusses über die Trennkanalisation werden die Substanzen meist ohne Behandlung direkt ins Oberflächengewässer

geleitet. Die mit dem Regenwetter verbundenen Pulsbelastungen sind insbesondere in kleinen, urban geprägten Gewässern zu erwarten.

Zu den Emissionen und Stoffbelastungen im Regenwasser wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Untersuchungen publiziert, die in der Regel die Systemzusammenhänge zwischen Quelle und Vorkommen klar beschreiben. Weniger klar hingegen ist, wie sich die Belastungsdynamik im Gewässer im Verhältnis zu den quellenorientierten Emissionen über die Zeit entwickeln und welche konkreten Maßnahmen zur Reduktion der diffusen Einträge geeignet sind. Da regenbedingte Stoffeinträge einer hohen Variabilität unterliegen, die einerseits durch den Witterungsverlauf, andererseits durch Art und Alter der Bauprodukte beeinflusst ist, stellt die Erfassung eine hohe Herausforderung an Probenahme und Analytik dar, sodass die Modellierung ergänzend eingesetzt werden kann.

Vorarbeiten

In zwei Berliner Untersuchungsgebieten wurden die Abflussmengen und Stoffemissionen von Fassaden und Dächern sowie das Vorkommen der Stoffe im Regenkanal des Einzugsgebiets experimentell erfasst und für ausgewählte Proben die Konzentrationen und Frachten für mehrere organische Spurenstoffe sowie Schwermetalle quantifiziert (Wicke et al., 2021a, 2021b). Das Regenwasser, welches vor Ort versickerte oder in die Versickerung gelangte, wurde im Boden ebenso wenig bestimmt wie die effektiven Belastungen im Oberflächengewässer nach der Direkteinleitung und im Grundwasser.

Für die Überbauungen waren die eingesetzten Bauprodukte bekannt, sowohl hinsichtlich der Flächenmengen als auch der Produktzusammensetzungen mit den Zielsubstanzen. Daraus wurde ein Inventar der eingesetzten Materialien erstellt und die potentiell eluierbare Stoffmenge bilanziert. Für die meisten Bauprodukte wurde das Auslaugverhalten in Elutionstests bestimmt, die europaweit harmonisiert sind (DIN EN 16105:2011-12, DIN EN 16637-2:2021). Zusammen mit den Feldresultaten lag damit eine umfassende Bilanz zu eingesetzten und freigesetzten organischen und anorganischen Stoffe vor.

Ziele

Die hier vorgestellten Ergebnisse fokussieren auf ein in der Umwelt vergleichsweise langlebiges Biozid, Diuron, das filmschützend in Fassadenbeschichtungen in der Regel verkapselt eingesetzt wird, um das grundsätzliche Vorgehen der Belastungsabschätzung und Risikobeurteilung für urbane Stoffemissionen und Oberflächengewässer vorzustellen. Diuron wurde in einem der beiden Untersuchungsgebiete (Gebiet A) als Filmschutzmittel im Fassadenputz eingesetzt.

Die entwickelten Massnahmen adressieren Dach, Fassade und Grundstücksentwässerung, um damit die Belastungen an der Quelle sowie nachgeschaltet zu vermeiden oder zu vermindern. Dabei wurden vor allem praxistaugliche Massnahmen gewählt, um breite Akzeptanz und starke Umsetzung zu erzielen.

Vorgehen

Für die Modellierung der Freisetzungsdynamik des Biozids wurden die Laborresultate für den im Gebiet A verwendeten Putz, der den Wirkstoff verkapselt enthielt, berücksichtigt. Im sogenannten Immersionstest (neun Datenpunkte; DIN EN 16105) wurde das Auswaschverhalten bestimmt und die Datenpunkte durch eine logarithmische Emissionsfunktion beschrieben. Anschließend wurden die Gebäudegeometrien der Überbauungen (Dach- und Fassadenflächen) und versiegelten Anschlussflächen (Wege, Plätze etc.) im Modell flächentreu nachgebildet, bei den Fassaden auch die Expositionsrichtung definiert. Einbezogen wurden die Wetterdaten in stündlicher Auflösung vom entsprechenden Standort (Niederschlag, Windrichtung, -geschwindigkeit), um die Wasserflüsse und die Stoffe zu modellieren. Zusätzlich wurden ältere Wetterdaten über einen Zeitraum von fünf Jahren verwendet, um für mehrere Szenarien die Bedeutung verschiedener Einflussfaktoren, wie Gewässergröße oder Standort, auf die mögliche Belastung zu untersuchen.

Um die Vorhersagegüte des modellierten Schlagregens zu prüfen, wurden die Simulationen ohne weitere Parameteroptimierung durchgeführt und direkt mit den realen Messungen verglichen. Die Messdaten beziehen sich auf die ereignisbezogenen Fassadenablaufmengen, welche durch Proberinnen (N, O, S, W) von den darüber liegenden Flächen aufgefangen wurden. Anschließend wurden mit den Stoffkonzentrationen im Fassadenablauf und im Regenkanal die Regenwasserbelastungen berechnet. Die potentielle Gesamtemission umfasst sämtliche Fassaden und stellt die maximale Stoffemission im Gebiet dar. Aus der Differenz von Gesamtemission und der Emission in den Regenkanal ließen sich die Stoffströme für Direkteinleitung und Verbleib und/oder Versickerung im Gebiet bilanzieren. Zur Bewertung der Risiken im Gewässer wurden die Umweltqualitätsziele (UQN) herangezogen.

Für die Modellierung wurde die Software COMLEAM (CONstruction Material LEaching Model, www.comleam.ch) verwendet, mit der Stoffemissionen aus Gebäuden und Gewässerbelastungen dynamisch berechnet und die Stofffreisetzung bilanziert werden kann.

Basierend auf den Feldstudien und Modellergebnissen wurden Maßnahmen erarbeitet und priorisiert. Der Leitfaden und die drei Maßnahmen-Steckbriefe sind mit Herstellern, Verbänden und Fachexperten diskutiert bzw. abgestimmt worden.

Ergebnisse

Modellierung

Der vorhergesagte Abfluss aller Gebäudefassaden zeigt eine hohe Übereinstimmung zu den gemessenen 27 Fassadenabflussereignissen, sowohl bezogen auf die Streuung als auch die Abflussmengen. Für Gebiet A beträgt der simulierte Abfluss, kumuliert über 1,5 Jahre, $12,5 \text{ L/m}^2$ und der gemessene $8,4 \text{ L/m}^2$ (Abb. 1). Die Überschätzung im Bereich von 30 % durch die reinen Abflussvorhersagen verbindet sich hauptsächlich mit drei Starkregenereignissen $> 30 \text{ mm}$. Zu diesen Zeitpunkten war das effektive Windfeld vor Ort abweichend von dem an der ca. 1 km entfernt gelegenen Wetterstation. Wären diese Datenpunkte unberücksichtigt geblieben, würden die Abweichungen $< 10 \%$ betragen. Vor allem Abschattungen durch Bäume, Sträucher oder Nachbargebäude bedingen die Abweichungen, aber auch Turbulenzen während Starkregen, die mit stündlich aufgelösten Messdaten nur grob beschrieben werden können.

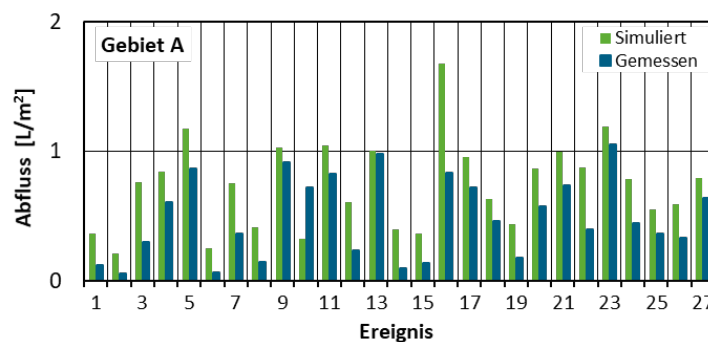


Abbildung 1: Fassadenablauf simuliert vs. gemessen für alle Fassadenseiten in Gebiet A. Berücksichtigt sind bei der Fassadenabflussmodellierung 27 Fassadenabflussereignisse $\geq 10 \text{ mm}$.

Die simulierte Abflussmenge im Regenkanal, der die angeschlossenen Flächen im Einzugsgebiet entwässert, entspricht etwa 120 % der gemessenen Menge und stammt zu 30 % von Plätzen und Wegen und $> 60 \%$ von Dächern (Abb. 2). Die Fassadenabflüsse sind mit 0,02 % am Gesamtabfluss unbedeutend, wobei davon die Ostfassaden (2200 m^2) 65 % beitragen, gefolgt von der Süd- (1850 m^2) und Westseite (1250 m^2) mit je 8 % Abflussanteil. Die Überschätzung der Abflussmengen im Regenkanal beruht einerseits auf zwei großen Einzelereignissen, andererseits auf den im Modell festgelegten generischen Abflussbeiwerten für alle Oberflächen, welche von den effektiven in der Realität abweichen können.

Die vorhergesagte kumulierte Diuron-Fracht der in den Regenkanal entwässernden Fassadenflächen liegt rund 9 % niedriger als die gemessene Fracht (476 vs. 522 mg) (Abb. 2 rechts). Der Unterschied basiert hauptsächlich auf zwei Ereignissen, bei denen die gemessenen Konzentrationen um rund das Fünffache über der simulierten Konzentration lagen.

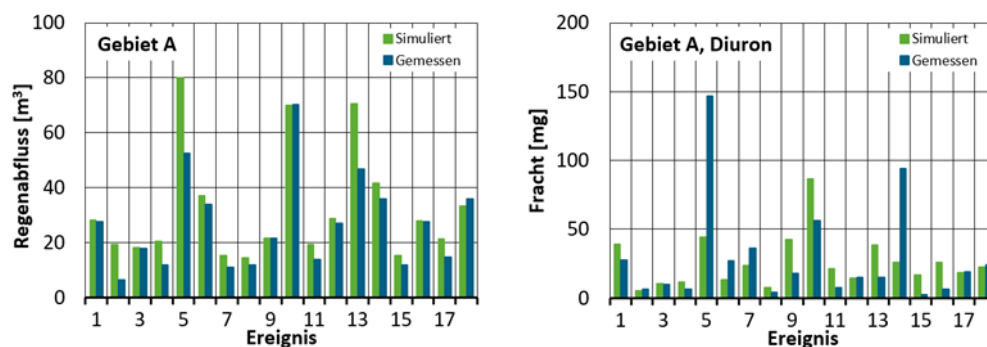


Abbildung 2: Regenabfluss (links) und Diuron-Fracht (rechts) der in den Regenkanal entwässernden Flächen von Gebiet A. Berücksichtigt sind bei der Fassadenabflussmodellierung Regenereignisse $\geq 10 \text{ mm}$.

Die Expositionsabhängigkeit der Diuron-Emission ist in Abb. 3 zu sehen. Für die an den Regenkanal angeschlossenen Fassadenflächen zeigt sich, dass die grossen Frachtanteile von den Ost-, gefolgt von den Südfassaden in den Regenkanal gelangen, weil deren Entwässerung daran angeschlossen ist (Abb. 3 links).

Bezogen auf die Stoffemission aller Fassaden des Untersuchungsgebietes in die Umwelt wird aber am meisten von den Süd- und Westfassaden emittiert (Abb. 3 rechts). So stammen 75 % der insgesamt emittierten Diuron-Fracht von West- und Südfassaden. Damit unterstreicht die Modellierung der Emissionen wie bei den Abflussmengen die starke Expositionsorientierung.

Die modellgestützte, expositionsabhängige Emissionsabschätzung im Gebiet A zeigt weiterhin, dass die modellierte Diuron-Fracht im Regenkanal (3,4 g) gegenüber der Gesamtemission von allen Fassaden (305 g) rund 100-mal niedriger ist (Abb. 3). Aus der Differenz von Emission in den Regenkanal und Gesamtemission ergibt sich, dass im Gebiet A nur 1 % der ausgewaschenen Biozidmenge in den Regenkanal gelangt, welcher in die Spree einleitet, während 99 % der Fracht im Gebiet verbleiben, ggf. in die Versickerung gelangen.

Die in den Regenkanal transportierte Diuron-Fracht reicht jedoch aus, um im Abfluss Konzentrationen oberhalb der UQN für Gewässer zu erreichen. Besonders in kleineren Gewässern sind überproportional häufiger UQN-Überschreitungen zu erwarten als in großen (Szenario mit 50 vs. 500 L/s), wobei die Dauer von möglichen Überschreitungen als auch die Anzahl überdurchschnittlich zunehmen.

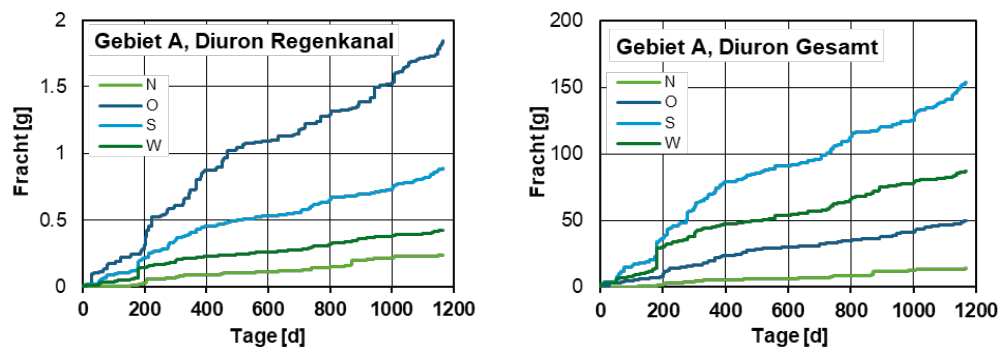


Abbildung 3: Expositionsabhängige Diuron-Emission in den Regenkanal (links) und von allen Fassaden ins Gebiet (rechts).

Maßnahmen

Bei Bau- oder Sanierungsvorhaben sind in der Regel emissionsmindernde Maßnahmen mit geringem Aufwand möglich. Durch eine integrierte Regenwasserbewirtschaftung lassen sich sowohl die Regenwasserabflussmenge als auch die Emissionen reduzieren.

Zwei Grundprinzipien liegen den entwickelten Empfehlungen zu Grunde (UBA, 2021). Zum einen führt eine Vermeidung oder Verringerung des Einsatzes von Produkten mit umweltrelevanten Substanzen zu einer Verringerung des Eintrages in die Umwelt. Dazu gehören beispielsweise konstruktionsbedingte Schutzmaßnahmen sowie die Wahl von Bauprodukten mit geringem Belastungspotential. Lässt sich eine Belastung nicht vermeiden, kann eine nachgeschaltete Behandlung des Regenwasserabflusses auf dem Grundstück eine Beeinträchtigung von Grund- bzw. Oberflächengewässern verringern. Zum anderen führt eine Verringerung der abfließenden Wassermenge in der Regel auch zu einer geringeren stofflichen Belastung und zudem auch zu einer hydraulischen Entlastung von Kanalnetz und Gewässern.

Die Maßnahmenempfehlungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Eine Vermeidung an der Quelle ist einer nachgeschalteten Verminderung der Emissionen im Regenwasserabfluss vorzuziehen.
- Eine Emissionsreduktion aus Gebäuden in die Umwelt um mindestens 90 % ist möglich, z.B. durch die Berücksichtigung von Bauprodukten mit geringer Emission oder dezentrale Behandlung.
- Eine Deklaration von Emissionen während der Nutzungsphase hilft, Bauprodukte mit geringeren Emissionen zu identifizieren. Dafür sind einheitliche Vorgaben notwendig. Harmonisierte Prüfverfahren sind eine zuverlässige Grundlage für Produktvergleiche.
- Fördermaßnahmen sowie Weiterbildungsangebote sind noch unzureichend und helfen aber, die Maßnahmenempfehlungen in der Praxis zu etablieren.
- Eine ganzheitliche Planung im Rahmen eines ökologischen Gesamtkonzepts ist der Schlüssel für ein nachhaltiges Bauen.

Die Maßnahmen zur Reduktion von Einträgen umweltrelevanter Stoffe aus Bauprodukten in die Umwelt wurden in einem Leitfaden und Maßnahme-Steckbriefen für Bauherren, Architekten, Planer und Behörden zusammengefasst (UBA, 2021). Insgesamt wurden drei kompakte Steckbriefe entwickelt, die Maßnahmen zur Berücksichtigung bei der Gestaltung von Dächern (Steckbrief 1), Fassaden (Steckbrief 2) und des Grundstücks (Steckbrief 3) aufzeigen. Sie stehen als separate Dokumente zur Verfügung, damit in Planungsprozessen frühzeitig die Vermeidung möglicher Emissionen aus Bauprodukten in die Umwelt berücksichtigt werden kann.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Modellierung zeigt sensitive Emissionsparameter wie die Bedeutung des Standorts und die Auswaschdynamik auf und ermöglicht vollständige Stoffbilanzen über einen längeren Zeitraum (Bilanzierung der Nutzungsphase) für räumlich klar definierte Gebiete (Stoffstrombilanz). Bemerkenswert ist die gute Abbildung von Pulsbelastungen, welche für die Risikobetrachtungen im Gewässer einen hohen Stellenwert einnehmen.

Die Erkenntnisse des Projekts wurden zur Ableitung von Maßnahmen verwendet, um ein nachhaltiges Regenwassermanagement in urbanen Räumen zu erreichen. Kritische Lastfälle sind in kleinen Gewässern zu erwarten, sodass besonders hier Maßnahmen an der Quelle oder nachgeschaltet angezeigt sind. Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung sind zwar seit Jahren etabliert und gewinnen immer noch an Bedeutung, jedoch sollten potentielle Belastungen des Regenwasserabflusses durch Auslaugung von Bauprodukten bei der Planung stärker berücksichtigt werden, um unnötige Belastungen a priori zu vermeiden bzw. zu minimieren (z.B. Beeinträchtigung von Boden und Grundwasser bei Versickerungsmaßnahmen).

Danksagung

Das Projekt "Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt – Wegweisung für Regelung und Akteure" (BaSaR) wurde durch das Deutsche Umweltbundesamt UBA gefördert und insbesondere durch das Fachgebiet III 1.4 "Stoffbezogene Produktfragen" begleitet.

Literatur

- Burkhardt, M., Junghans, M., Zuleeg, S., Schoknecht, U., Lamani, X., Bester, K., Vonbank, R., Simmler, H., Boller, M. (2009): Biozide in Gebäudefassaden - ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 21(1):36-47.
- Burkhardt, M., Zuleeg, S., Vonbank, R., Bester, K., Carmeliet, J., Boller, M., Wangler, T. (2012): Leaching of biocides from Façades under natural weather conditions. *Environmental Science and Technology* 46(10), 5497-5503.
- Clara, M., Gruber, G., Humer, F., Hofer, T.F., Kretschmer, F., Ertl, T., Scheffknecht, C., Giselbrecht, G., Windhofer, G. (2014) Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen (UW-Nr. 907). Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Paijens, C., Bressy, A., Frère, B., Moilleron, R. (2019): Biocide emissions from building materials during wet weather: identification of substances, mechanism of release and transfer to the aquatic environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27:3768–3791.
- UBA (2021): Steckbrief 2: Grundsätze für die Planung von Fassaden. www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/bauprodukte/studien-zur-messung-vermeidung-bewertung-von/schadstoffe-aus-gebaeuden-in-der-urbanen-umwelt
- Wicke, D., Tatis-Muvdi, R., Rouault, P., Zerball-van Baar, P., Dünnbier, U., Rohr, M., Burkhardt, M. (2021a): Belastung von urbanem Regenwasserabfluss durch Gebäude. *Aqua Urbanica 2021*, Innsbruck.
- Wicke, D., Tatis-Muvdi, R., Rouault, P., Zerball-van Baar, P., Dünnbier, U., Rohr, M., Burkhardt, M. (2021b): Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt. UBA-Berichte, Dessau-Rosslau.
- 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.