

Modellierung der Freisetzung von Spurenstoffen aus Gebäuden und des Eintrags in Gewässer bei Regenwetter

Mirko Rohr, Olaf Tietje, Michael Burkhardt

HSR Hochschule für Technik, Rapperswil, Schweiz

Kurzfassung: Die wetterbedingte Auswaschung von Stoffen aus Gebäuden kann zu einer Belastung von Boden und Gewässern führen. Um die damit verbundene Umweltrisiko besser einschätzen zu können, wurde das Simulationsmodell COMLEAM (CONstruction Material LEAching Model) eingesetzt. COMLEAM ist eine Software, mit der der Transportpfad vom beregneten Bauteil bis zum Umweltkompartiment berechnet wird. In einer Sensitivitätsanalyse zur Höhe eines Gebäudes bzw. der Fassaden wurde gezeigt, dass die Ausrichtung einer Fassade als Eingangsgröße des Modells den größten Einflussfaktor für die Extrapolation von Daten sowie bei der abgeschätzten Gewässerbelastung darstellt.

Key-Words: Modellierung, COMLEAM, Bauprodukte, Gewässerbelastung

1 Einleitung

Mit dem Regenwasser können organische Spurenstoffe aus Gebäuden ausgewaschen, im Boden versickert, über die Kanalisation in Kläranlagen oder direkt in Oberflächengewässer eingetragen werden (Abb. 1) (Wittmer 2010, Clara 2014, Wicke 2017). Dazu gehören beispielsweise Biozide aus Dach-, Fassaden-, Holzfarben und Fassadenputzen, sowie aus Holzschutzmitteln (Burkhardt 2011, Kasser 2015). Die regengetriebene Auswaschung führt zu Stoßbelastungen in urban geprägten, kleinen Fließgewässern.

Einflussfaktoren auf die Auswaschmengen sind die Stoff- und Materialeigenschaften sowie die Wasserkontaktzeit. Durch zahlreiche Untersuchungen ist das grobe Muster, dem die Emissionen folgen, bekannt. Eine Emissionsfunktion beschreibt die von einem Gebäude kumuliert ausgewaschene Stoffmenge (mg/m^2) als Funktion der kumulierten Menge von Ablaufwasser (L/m^2).

Im vorliegenden Projekt wurde exemplarisch die Freisetzung von organischen Stoffen für verschiedene Gebäudehöhen und -ausrichtungen und deren Eintrag in Gewässer über mehrere Jahre modellgestützt abgeschätzt.

2 Modellierung

Die Modellierung stellt ein wichtiges Werkzeug zur Expositionsabschätzung dar. Daher wurde die modulare aufgebaute Modellierungs-Software COMLEAM (Construction Material Leaching Model), in Java, Angular und R realisiert, zur dynamischen Vorhersage der Stoffauswaschung und zur Beurteilung der Exposition in Gewässern entwickelt (Burkhardt 2018). Mit der Software lassen sich beispielsweise der Schlagregen an Gebäudefassaden, die Konzentrationen im Ablaufwasser von Gebäuden und die Belastung von Fließgewässern durch Einzugsgebietsflächen ermitteln (Hochstrasser 2016).

Der Kern der Software, der Calculator, berechnet die Stoffflüsse aus den vier Modulen Geometrie, Baumaterial, Emissionen und Wetter (Abb. 1). Der Calculator besteht aus Bilanzierungseinheiten, die die Abflüsse der Bauteile aufnehmen und an die Umweltkompartimente (z.B. Boden, Oberflächengewässer) verteilen.

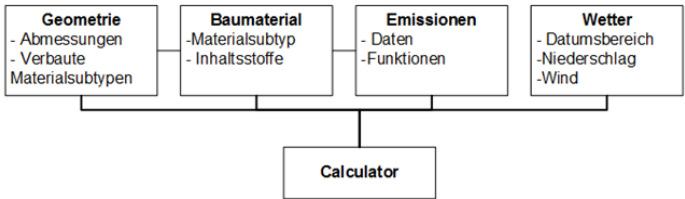


Abbildung 1: Modulstruktur in COMLEAM

Die Software stellt eine Plattform dar, mit der sich für vorgegebene Randbedingungen (z. B. Stoffe, Emissionsfunktionen) und Szenarien die Auswaschung und Umweltpexposition abschätzen lassen. Der Anwender kann die Modellparameter und die entsprechenden Anforderungen auch individuell festlegen u. Schnittstellen zu etablierten Boden- oder Netzmodellen dienen dazu, eine breite Nutzung zu ermöglichen.

Die Freisetzung und der Gewässereintrag des bioziden Wirkstoffs Terbutryn, ein Algizid in Farben und Putzen, wurden über 20 Jahre mit dem Wetterverlauf von Hamburg (1996-2016; Wetterdaten DWD) beispielhaft modelliert. Die Gebäudehöhen variierten lagen bei 2,5 m („OECD-Haus“), 7,5 m („DIBt-Haus“) und 21 m („Hochhaus“) (Tab. 1). An jedem Haus sind 20 % der Fassadenfläche mit Glas definiert. Diese Fläche emittiert kein Terbutryn. Die Dachfläche wird bei der Simulation dagegen durchweg nicht mitberücksichtigt.

Der verfügbare Felddatensatz (Terbutryn C_0 2250 mg/m², Emissions 28 mg/m²) über einen Messzeitraum von 369 Tage wurde zur Parametrisierung der gewählten logarithmischen Emissionsfunktion herangezogen. Die Auswertung von einer westorientierten Fassade mit Höhe 1,8 m, an der der Abfluss ereignisbezogen aufgefangen (56 L/m²) und chemisch analysiert wurde, ist Grundlage für die Vorhersage (Burkhardt 2012).

Tabelle 1: Fassadenanteile nach Exposition für das OECD-Haus mit 2,5 m Höhe, das DIBt-Haus mit 7,5 m Höhe und das Hochhaus mit 21 m Höhe

Exposition [°]	2,5 m Höhe		7,5 m Höhe		21 m Höhe	
	Fläche total [m ²]	Fläche mit Terbutryn [m ²]	Fläche total [m ²]	Fläche mit Terbutryn [m ²]	Fläche total [m ²]	Fläche mit Terbutryn [m ²]
0	18,75	15	56,25	45	157,5	126
90	43,75	35	131,25	105	367,5	294
180	18,75	15	56,25	45	157,5	126
270	43,75	35	131,25	105	367,5	294
Total	125	100	375	292	1050	840

3 Resultate

Entsprechend der Niederschlagsverteilung und in Abhängigkeit von der bevorzugten Windrichtung ergeben sich die höchsten Emissionen an der Westfassade (Abb. 2). Die höchsten Emissionen erfolgen in den anfänglichen Schlagregenperioden während des ersten Jahres nach der Fertigstellung. Auch an den weniger windexponierten Ost- und Nordfassaden treten bei Schlagregen relativ hohe Emissionen auf. Dabei ist die Abhängigkeit von der Expositionsrichtung bemerkenswert, die nicht linear auftritt. Eine Fassade mit doppelt so hohem Abfluss emittiert nicht doppelt so viel Substanzmenge.

Die gesamte Emissionsmenge an einer hohen Fassade bzw. einem hohen Gebäude ist größer als die an einer niedrigen Fassade bzw. einem niedrigen Gebäude. Wegen verschiedener Effekte (Verdunstung, Windprofil etc.) ist jedoch die Emissionsmenge je Quadratmeter Fassadenfläche an einem hohen Haus geringer. In den simulierten Szenarien ergibt sich eine Reduktion der Emission je Quadratmeter bei der Erhöhung der Gebäudehöhe von 2,5 auf 7,5 m von 6,6 % (Abb. 2). Beim Sprung von 7,5 auf 21 m Gebäudehöhe beträgt die Reduktion sogar 7,5 %. Der Unterschied zwischen der höchsten Emission an der Westfassade und der kleinsten Emission an der Ostfassade beträgt gerade etwa Faktor 1,5. Der Unterschied zwischen der höchsten Emission am Hochhaus mit der Höhe von 21 m und der kleinsten Emission bei der Höhe von 2,5 m beträgt etwa Faktor 1,13 (also 13 %). Die Unterschiede sind demnach <20 %.

Wegen der höheren gesamten Emissionsmenge aus dem Hochhaus, die sich aber auf eine geringere Ablaufwassermenge je Quadratmeter verteilt als beim OECD-Haus, sind die Konzentrationen von Terbutryn in dem kleinen Bach mit 50 L/s Abfluss größer (Abb. 3). Eine Überschreitung vom angenommenen allgemeinen Anforderungswert von 0,1 µg/l pro Biozidprodukt im Fließgewässer durch das niedrige OECD-Haus zeigt sich allerdings nur innerhalb des ersten Jahres bei entsprechenden Schlagregen-

ereignissen. An dem 21 m hohen Gebäude dagegen treten auch nach vielen Jahren noch Konzentrationen auf, die im Bereich des Grenzwertes oder darüber liegen.

Beim OECD-Haus werden nur 5 Überschreitungen mit 125 h Dauer erwartet. Beim Hochhaus, welches 8mal höher ist als das OECD-Haus, treten dagegen 30mal häufiger Überschreitungen (149) mit insgesamt 4844 h Dauer auf (38mal mehr). Das Hochhaus, in seiner Höhe und baulichen Charakterisierung durchaus typisch für viele Städte, ist somit von bedeutend größerem Einfluss auf die Gewässerqualität als das in der Biozid-Beurteilung etablierte OECD-Haus mit 2,5 m Höhe. Das DIBt-Haus liegt dazwischen und repräsentiert somit ein Durchschnittsgebäude.

Es sei darauf hingewiesen, dass in dieser exemplarischen Betrachtung mögliche Verdünnungseffekte durch nicht verschmutztes Regenwasser horizontaler Flächen (z.B. Platz-, Straßen-, Dachwasser) nicht einbezogen wurden. Diese Einflussfaktoren sollen in einer Nachfolgearbeit auch unter Berücksichtigung von einem Kanalnetzmodell berücksichtigt werden.

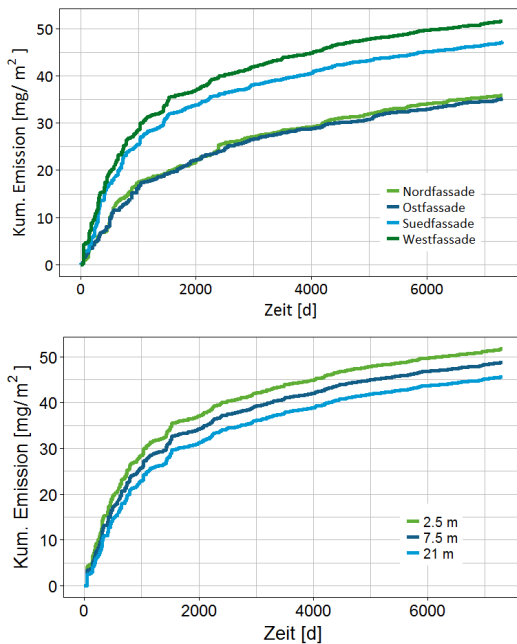


Abbildung 2: Terbutryn-Emissionen an den vier Fassaden des OECD-Hauses (links) und den Westfassaden für das OECD-Haus (Höhe 2,5 m), das DIBt-Haus (Höhe 7,5 m) und das Hochhaus (Höhe 21 m) (rechts).

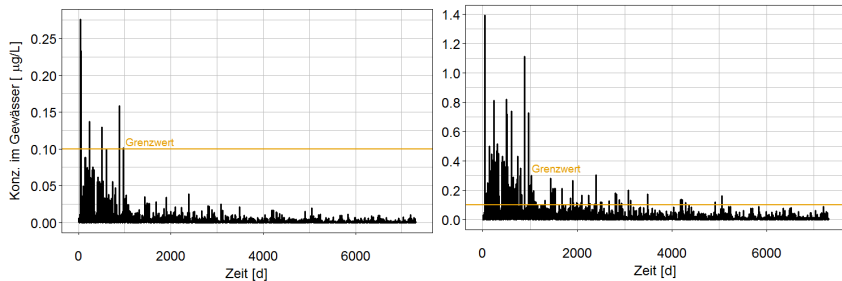


Abbildung 3: Konzentration von Terbutryn im Fließgewässer für ein Haus mit 2,5 m Höhe (links) und 21 m Höhe (rechts).

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

In den Simulationen mit COMLEAM wurden die möglichen Auswirkungen auf ein kleines Gewässer dargestellt. Die Gebäudehöhe, die auf die gesamte Emissionsmenge nur einen kleinen Einfluss hat, hat auf ein solches Gewässer einen durchaus signifikanten Einfluss. Es zeigt sich, dass ein kleines Gewässer neben einem niedrigen Haus (Höhe 2,5 m) nur wenige Grenzwertüberschreitungen aufweist. Verläuft das Gewässer neben einem Hochhaus (Höhe 21 m), so nehmen die Anzahl, die Dauer und die Höhe der Konzentrationsspitzen (sog. Pulsbelastungen) zu.

Der Einfluss von Einzugsgebietsflächen, die den Abfluss von emissionsbehafteten Flächen verdünnen (z.B. Dächer, Parkplätze etc.), und der Gewässergröße im Vergleich zur Gebäudehöhe soll zukünftig ebenfalls abgeschätzt und beurteilt werden. Damit lassen sich die wesentlichen Variablen der Austrags- und Expositionsmodellierung auf wenige Größen eingrenzen.

5 Danksagung

Die HSR-Simulationen wurden im Rahmen des UBA-Projekts „Emissions- und Übertragungsfunktionen für die Modellierung der Auslaugung von Bauprodukten“ durchgeführt (Tietje 2018). Für die Evaluation der Emissionsfunktionen und Mitarbeit im Projekt danken wir Ute Schoknecht, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, und Nicole Borho, Dr. Robert-Murjahn-Institut (RMI), Ober-Ramstadt. Der Förderung zur Software-Entwicklung danken wir dem Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Bern/CH und zur Projektbearbeitung dem Umweltbundesamt in Dessau-Roßlau.

6 Literatur

- Burkhardt M., Zuleeg S., Vonbank R., Schmid P., Hean S., Lamani X., Bester K. und Boller M. (2011): Leaching of additives from construction materials to urban storm water runoff. *Water Science and Technology*, 63:1974-1982.
- Burkhardt M., Zuleeg S., Vonbank R., Bester K., Carmeliet J., Boller M. und Wangler T. (2012): Leaching of Biocides from Façades under Natural Weather Conditions. *Environmental Science & Technology*, 46:5497-5503.
- Burkhardt M., Engelke D., Gehrig S., Hochstrasser F., Rohr M. und Tietje O. (2018): Introduction and application of the software COMLEAM – Manual Version 1.0. HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz, S. 50.
- Clara M., Gruber G., Humer F., Hofer T., Kretschmer F., Ertl T., Scheffknecht C. und Windhofer G. (2014): Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Hochstrasser F., Burkhardt M. und Tietje O. (2016): Schlagregenerberechnung für Gebäudefassaden - Exemplarische Anwendung der Simulationssoftware COMLEAM. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S. 24.
- Kasser U., Savi D. und Klingler M. (2015): Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, S. 281.
- Tietje O., Rohr M., Burkhardt M., Borho N. und Schoknecht U. (2018): Emissions- und Übertragungsfunktionen für die Modellierung der Auslaugung von Bauprodukten.
- Wangler T.P., Zuleeg S., Vonbank R., Bester K., Boller M., Carmeliet J. und Burkhardt M. (2012): Laboratory scale studies of biocide leaching from façade coatings. *Building and Environment*, 54:168-173.
- Wicke D., Matzinger A., Sonnenberg H., Caradot H., Schubert R.-L., Rouault P., Heinzmann B., Dünbnier U. und von Seggern D. (2017): Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 5:394-404

Korrespondenz an:

Prof. Dr. Michael Burkhardt
HSR Hochschule für Technik Rapperswil
Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC)
Oberseestrasse 10 | 8640 Rapperswil (Schweiz)
Tel.: +41 55 222 4870
E-Mail: michael.burkhardt@hsr.ch