

## Der Beitrag von Nicht-Metaldächern zur Verunreinigung von Niederschlagswasser – Untersuchungen zur Auslaugung verschiedener Dachmaterialien

Julia Udvary<sup>1</sup>, Regina Schwerd<sup>2</sup>, Brigitte Helmreich<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft Technische Universität München; Deutschland,

<sup>2</sup> Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP Valley; Deutschland

**Kurzfassung:** Niederschlagswasser von Dachflächen ist häufig mit Schadstoffen belastet. Während Metall- und Gründächer als Eintragsquellen gut untersucht sind, zeigen neue Erkenntnisse, dass auch weit verbreitete Dachmaterialien wie Tonziegel, Betondachsteine, Faserzement, Holz- und Bitumenschindeln zur Belastung des Niederschlagswassers beitragen können. Um fundierte Aussagen zu ihrem Schadstoffbeitrag treffen zu können, wurden 15 verschiedene Materialien hinsichtlich ihrer Stofffreisetzung in standardisierten Laborauslaugtests (DIN EN 16637-2) untersucht. Die Ergebnisse zeigen: behandelte Holzschindeln setzen hohe Mengen an Kupfer, Bor und Ammonium frei. Aus Tondachziegeln lösen sich Arsen, Mangan und Vanadium. Betondachsteine und Faserzement geben verschiedene Biozide, darunter Terbutryn und OIT, ab. Zudem konnten organische Stoffe wie Bisphenol A in den Eluatn von Holz- und Bitumenschindeln nachgewiesen werden. Ergänzend zum Laborversuch erfolgt derzeit ein einjähriger Freilandversuch, um die Stofffreisetzung unter realen Witterungsbedingungen zu ermitteln. Die gewonnenen Daten dienen sowohl der Risikoabschätzung als auch als wissenschaftliche Grundlage für die Entwicklung von Behandlungsanlagen zur Vermeidung von Gewässerbelastungen.

**Key-Words:** Niederschlagswasserqualität, diffuse Schadstoffquelle, Dachmaterialien, organische Schadstoffe, Schwermetalle, Biozide

### 1 Hintergrund

Durch die wachsende Urbanisierung werden zunehmend unversiegelte Flächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen umgewandelt (European Commission, 2012). Die Qualität von Niederschlagswasser im urbanen Raum wird durch den Kontakt mit diesen versiegelten Oberflächen negativ beeinflusst (Charters et al., 2021; Müller et al., 2023). Untersuchungen in Trennsystemen zeigen, dass über das Niederschlagswasser eine Vielzahl an Schadstoffen wie Schwermetalle, Biozide und

andere organische Substanzen, darunter Bisphenol A, in unsere Gewässer gelangen können (Clara, 2014; Wicke et al., 2021). Dies gefährdet das Ziel der europäischen Wasserrahmenrichtlinie, einen guten chemischen und biologischen Zustand der Gewässer zu erreichen (European Parliament, 2000). Für die Entwicklung wirksamer Maßnahmen zur Reduzierung der Schadstoffbelastung ist ein detailliertes Verständnis der Eintragsquellen unerlässlich. Es ist bereits gut erforscht, dass Verkehrsflächenabflüsse eine Quelle für verschiedene Metalle sind (Huber et al., 2016; Kayhanian et al., 2012). Bei Gebäuden mit Metalldächern wurde die Freisetzung von Schwermetallen nachgewiesen (Galster & Helmreich, 2022; Gromaire et al., 2002). Fassaden wiederum tragen durch Auswaschung von Bioziden zur Schadstoffbelastung bei (Burkhardt et al., 2011; Linke et al., 2021; Vega-Garcia et al., 2020). Wurzelschutzbahnen, die auf Gründächern verwendet werden, setzen oft Herbizide wie zum Beispiel Mecoprop frei (Bucheli et al., 1998; Burkhardt et al., 2011). Bislang noch wenig erforscht ist jedoch die Rolle nichtmetallischer Dachmaterialien als Schadstoffquelle. Dazu zählen Tonziegel, Betondachsteine, Faserzement, Kunststoffdachpfannen, und Holz- oder Bitumenschindeln. Diese Dachmaterialien machen laut den Verkaufszahlen in Deutschland für die Jahre 2021 und 2022 knapp die Hälfte der verkauften Dachbaustoffe aus. Der Anteil von Metalldachmaterialien am Gesamtumsatz liegt lediglich bei wenigen Prozentpunkten. Der Rest der verkauften Materialien sind Dachbahnen, die überwiegend für Flachdächer eingesetzt werden (Branchenradar.com Marktanalyse GmbH, 2022; Industrieverband Dach- und Dichtungsbahnen, 2022, 2023).

Zwei Überblicksartikel fassen den aktuellen Forschungsstand zur Schadstofffreisetzung aus Dachmaterialien zusammen (De Buyck et al., 2021; Degenhart & Helmreich, 2022). Beide Studien kommen zu dem Ergebnis, dass auch nichtmetallische Dachmaterialien eine Schadstoffquelle für das Niederschlagswasser darstellen. Jedoch können oft keine allgemeinen und belastbaren Aussagen zur Auswaschung einzelner Materialien getroffen werden, da weitere Informationen zu Einflussfaktoren fehlen. Dazu zählen beispielsweise Umgebungsbedingungen, atmosphärische Deposition oder zusätzlich verwendete Materialien wie Dachrinnen, Gauben und Schornsteine. Eine vergleichbare Bewertung der Stofffreisetzung von Materialien – ohne externe Einflüsse – kann mithilfe von standardisierten Laborauslaugtests ermöglicht werden (Van der Sloot & Dijkstra, 2004). Für platten- und bahnenartige Bauprodukte, wie Dachmaterialien, ist der dynamische Oberflächenauslaugtest (DSLIT) gemäß DIN EN 16637-2 anzuwenden (DIN EN 16637-2, 2024).

Bisher existieren nur sehr wenige Studien, die einen kompletten DSLIT mit nichtmetallischen Dachmaterialien durchgeführt haben. Einzelne Materialien wurden zum Beispiel von Bandow et al. (2018) und Lupsea et al. (2014) untersucht. Andere Autoren führten entweder nicht-standardisierte Auslaugtests oder unvollständige DSLITs durch (Andersson-Wikström et al., 2015; Clark Shirley et al., 2008; Horváth & Clement, 2013; Kohzadi et al., 2024; Sulaiman et al., 2016). Insgesamt beschränken sich die meisten Untersuchungen auf eine geringe Auswahl an Dachmaterialien und

wenige analysierte Parameter. Für zahlreiche Dachmaterialien gibt es daher gar keine Daten oder nur Ergebnisse aus nicht-standardisierten Versuchen, die daher kaum vergleichbar sind. Ziel dieser Studie ist, diese Lücke durch eine umfassende und belastbare Datenbasis zur Auswaschung von Stoffen aus nichtmetallischen Dachmaterialien für Steildächer zu schließen.

## 2 Vorgehen

Im ersten Schritt wurden mittels eines standardisierten Laborversuchs potenzielle Schadstofffreisetzungen aus Dachmaterialien systematisch erfasst, Material-Stoff-Beziehungen und Freisetzungsmechanismen identifiziert und damit ein Beitrag zur Aufklärung von Schadstoffquellen im Niederschlagswasser geleistet. Aufbauend auf den Ergebnissen, werden im nächsten Schritt ausgewählte Dachmaterialien im Freiland beprobt. Über einen Zeitraum von einem Jahr wird das abfließende Niederschlagswasser untersucht, um Erkenntnisse über die Schadstofffreisetzung unter realen Umweltbedingungen zu gewinnen. Die Erkenntnisse der Laborversuche dienen dabei als Interpretationsgrundlage.

Auf Basis der in Labor- und Freilandversuchen gewonnenen Daten sollen fundierte Handlungsempfehlungen für Regelwerke zum Umgang mit Niederschlagswasser erarbeitet werden. Darüber hinaus dienen die Erkenntnisse als Grundlage für die Entwicklung von Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Langfristiges Ziel ist die nachhaltige Nutzung von Regenwasser in urbanen Gebieten und gleichzeitig die Minimierung des Schadstoffeintrags in unsere Gewässer.

### 2.1 Laborversuch

Mit insgesamt 15 marktüblichen Materialien wurden Laborauslaugtests (DSLIT) gemäß DIN EN 16637-2 durchgeführt. Untersucht wurden vier verschiedene Tondachziegel, zwei Betondachsteine, zwei Faserzementprodukte, unbehandelte und behandelte Holzschindeln, zwei Bitumenschindeln, Kunstschieferplatten sowie zwei Kunststoffdachpfannen. Der 64-tägige Versuch mit acht Wasserwechseln (nach 6 h, 18 h, 30 h, 42 h, 5 d, 7 d, 20 d, 28 d) erfolgte für jede Variante als Doppelbestimmung in PE-Behältern.

Die Auswahl der zu analysierenden Parameter orientierte sich an früheren Untersuchungen von Niederschlagsabflüssen aus Trennkanalisationen (Clara, 2014; Wicke et al., 2021). Für alle Materialien wurden anhand der bestimmten Konzentrationen in jedem der acht Eluate der kumulierte, flächenbezogene Stoffaustrag und die Auslaugmechanismen für anorganische Parameter (Schwermetalle und Spurenelemente, Anionen, Kationen) und Biozide (Benzisothiazolinone (BIT), Carbendazim, Dichlorooctylisothiazolinon (DCOIT), Diuron, Iodopropenyl-N-butylcarbamate (IPBC), Irgarol, Isoproturon, Octylisothiazolinon (OIT), Tebuconazol, Terbutryn (TBY), und Mecoprop) ermittelt. Ergänzend erfolgte eine Analyse von weiteren organischen Substanzen, darunter 13 Phthalate, 6 polychlorierte Biphenyle (PCB), 13 PFAS, 16

PAK, Nonylphenol (NP) und Bisphenol A (BPA), anhand einer Mischprobe der ersten sechs Zyklen für jedes Material.

Die Vorgehensweise ist in Udvary et al. (2025) detailliert beschrieben.

## 2.2 Freilandversuch

Anhand der Laborergebnisse wurden sechs Dachmaterialien für den Freilandversuch ausgewählt: engobierte Tonziegel, Betondachsteine, behandelte Holzschindeln, Bitumenschindeln und Kunststoffdachpfannen. Für jedes dieser Materialien wurden drei nach Westen ausgerichtete Probedächer mit einer Fläche von jeweils ca. 1 m<sup>2</sup> und einer Neigung von 25° Neigung aufgebaut. Zusätzlich wurden drei Dächer aus Edelstahl als Blindproben installiert. Das von den Probedächern abfließende Niederschlagswasser wird über Edelstahldachrinnen gefasst und in Probenahmegefäße geleitet. Über einen Zeitraum von einem Jahr werden nach jedem Regenereignis die Ablaufwässer beprobt. Analysiert werden jene Parameter, welche im Laborauslaugtest nachgewiesen wurden. Bei Bioziden erfolgt zusätzlich eine Analyse verschiedener Transformationsprodukte. Eine Wetterstation, die sich ca. 100 m von den Probedächern entfernt befindet, erfasst außerdem kontinuierlich klimatische Daten. Die Probenahme und Datenerfassung sind derzeit im Gange.



Abbildung 1: Nach Westen orientierte Probedächer auf dem Institutsgelände des Fraunhofer-IBP in D-83626 Valley.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Ergebnisse der Laborversuche

Durch Auswertung der Konzentrationen in den Eluaten konnten für alle Materialien und die gefundenen Parameter der kumulierte flächenbezogene Stoffaustrag in mg/m<sup>2</sup>

sowie der Auslaugmechanismus (nach DIN EN 16637-2) berechnet werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse für jedes Dachmaterial kurz dargestellt (siehe auch Udvary et al. (2025)).

### **Tonziegel**

Die vier untersuchten Tonziegel setzten alle zwischen 4,31 und 6,66 mg/m<sup>2</sup> Vanadium frei. Aus den glasierten und durchgefärbten Tonziegeln wurden zusätzlich Mangan (2,50 – 4,29 mg/m<sup>2</sup>) und Arsen (2,99 – 3,42 mg/m<sup>2</sup>) ausgewaschen.

### **Betondachstein**

Im Eluat der Betondachsteine waren verschiedene Biozide nachweisbar. Der kumulierte flächenbezogene Austrag beträgt 8,08 – 9,62 mg/m<sup>2</sup> Terbutryn, 3,08 – 4,63 mg/m<sup>2</sup> Octylisothiazolinon (OIT), und 2,17 – 3,04 mg/m<sup>2</sup> Benzisothiazolinon (BIT).

### **Faserzement: Wellplatten und Schindeln**

Die Wellplatten setzten 2,20 mg/m<sup>2</sup> BIT frei. Bei den Schindeln ergaben sich 0,53 mg/m<sup>2</sup> BIT, 8,04 mg/m<sup>2</sup> Terbutryn, und 6,60 mg/m<sup>2</sup> Iodopropynylbutylcarbamat (IPBC).

### **Bitumenschindeln**

In Mischproben von Zyklus 1-6 wurde bei einer Bitumenschindel-Variante 4,30 µg/L Bisphenol A gefunden.

### **Holzschindeln**

Die kesseldruckimprägnierten Holzschindeln setzten Ammonium (956 mg/m<sup>2</sup>), Cu (142 mg/m<sup>2</sup>) und Bor (186 mg/m<sup>2</sup>) frei. In der Mischprobe (Zyklus 1-6) wurde außerdem 46,9 µg/L Bisphenol A gefunden.

### **Kunststoffschindeln und -dachpfannen**

Aus den betrachteten Kunststoffmaterialien wurden keine relevanten Konzentrationen von anorganischen oder organischen Schadstoffen freigesetzt. Die Kunststoffdachpfannen wurden dennoch in den Freilandversuch aufgenommen, um zu ermitteln, ob dies auch bei realer Regenwassermatrix, Witterungseinflüssen und Materialalterung der Fall ist.

Deutliche Unterschiede und Muster im Freisetzungverhalten konnten für alle Dachmaterialien und Substanzen beobachtet werden. Die Freisetzung erfolgte überwiegend diffusionsgesteuert. Dies erleichtert die Interpretation des Langzeit-Auslaugverhaltens, z.B. in Freilandversuchen.

In Abbildung Nr. 2 ist ein Vergleich der Mittelwerte der Konzentrationen der acht Auslaugzyklen mit Konzentrationen im Niederschlagswasser in Trennkanalisationen dargestellt. Auch wenn die Konzentrationen aus Laborauslaugtests nicht direkt mit den im Feld gemessenen Konzentrationen vergleichbar sind, geben sie dennoch Hinweise darauf, ob ein Dachmaterial eine potenzielle Quelle für den betrachteten Parameter im

Niederschlagswasser darstellen kann. Da das Dachabflusswasser in der Trennkanalisation mit dem Abfluss anderer Flächen verdünnt wird, kann man nur dann eindeutig auf das Dachmaterial als Quelle schließen, wenn die Konzentration im Eluat deutlich über denen des Regenwassers liegt. Bei den folgenden Parametern ist das der Fall: Terbutryn (TBY), BIT, BPA, As, V, Ba, Sr und Cu.

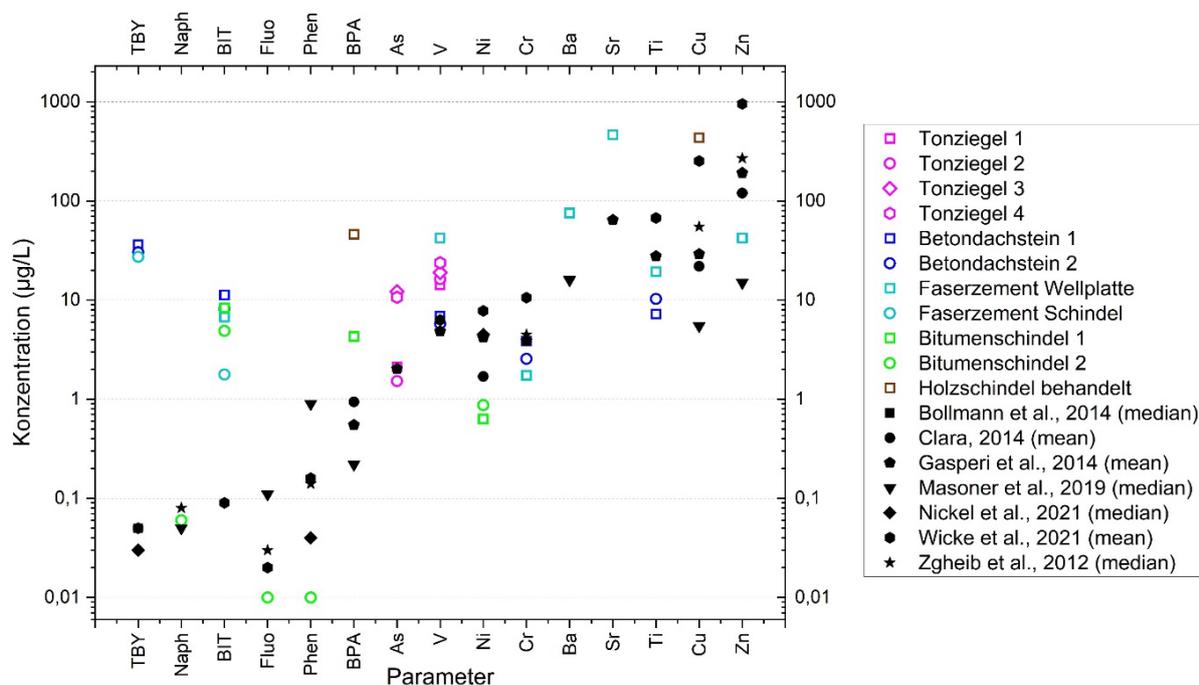


Abbildung 2: Vergleich der Laborkonzentrationen mit Werten im Niederschlagswasser, übernommen und angepasst nach Udvary et al. (2025).

Die betrachteten nichtmetallischen Dachmaterialien stellen also eine potenzielle Schadstoffquelle für das Niederschlagswasser dar. Behandelte Holzschindeln geben hohe Konzentrationen an Kupfer, Bor und Ammonium ab. Tondachziegel erwiesen sich als Quelle für Arsen, Mangan und Vanadium. Betondachsteine sowie Faserzementprodukte setzen relevante Mengen verschiedener Biozide wie OIT, BIT, IPBC und Terbutryn frei. Eine Analyse des Eluats aus dem Auslaugversuch zeigte zudem, dass sowohl behandelte Holzschindeln als auch Bitumenschindeln als Quelle für Bisphenol A in Frage kommen.

### 3.2 Erste Ergebnisse des Freilandversuchs

In den ersten Beprobungen des Niederschlagswassers der Probedächer konnten folgende Parameter nachgewiesen werden: Betonziegel setzten OIT, Terbutryn sowie dessen Transformationsprodukte frei. Im Abfluss behandelter Holzschindeln wurden hohe Konzentrationen von  $\text{NH}_4^+$ , Kupfer und Bor bestimmt. Im Abfluss der Tondachziegel waren Vanadium und Mangan enthalten. Diese Ergebnisse stimmen bislang mit

den Erkenntnissen aus den Labortests überein. Eine weiterführende Interpretation wird nach der Auswertung zusätzlicher Regenereignisse möglich sein.

## 4 Ausblick

Die Beprobung des Niederschlagswassers der Probedächer wird bis mindestens Anfang 2026 weitergeführt. Neben der Bewertung der Stoffkonzentrationen und flächenbezogenen Austrägen soll eine Auswertung der inter- und intra-eventlichen Schwankungen im Auslagverhalten erfolgen. Im Fokus steht unter anderem der First-Flush-Effekt, sowie der Einfluss klimatischer Faktoren wie Regenintensität, die Dauer vorangegangener Trockenperioden, Temperatur und Sonneneinstrahlung. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Weiterentwicklung von Regelwerken sowie für die Auslegung dezentraler Niederschlagswasserbehandlungsanlagen.

## 5 Förderung

Förderung durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen aus Mitteln der Zukunft Bau Forschungsförderung (10.08.18.7-23.15.2).

## 6 Literatur

- Andersson-Wikström, A., Österlund, H., Hedström, A., & Viklander, M. (2015). *The release of pollutants from roofing materials in laboratory experiments* IWA International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication: 14/09/2015-18/09/2015, <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?dswid=9723&pid=diva2%3A1011545>
- Bandow, N., Gartiser, S., Ilvonen, O., & Schoknecht, U. (2018). Evaluation of the impact of construction products on the environment by leaching of possibly hazardous substances. *Environmental Sciences Europe*, 30(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0144-2>
- Branchenradar.com Marktanalyse GmbH. (2022). *Absatz von Dachmaterial nach Produktgruppen in Deutschland im Jahr 2021 (in 1.000 Quadratmeter)* (<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1339621/umfrage/absatz-ausgewaehlter-dachmaterialien-in-deutschland/>)
- Bucheli, T. D., Müller, S. R., Voegelin, A., & Schwarzenbach, R. P. (1998). Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R, S)-mecoprop in roof runoff waters: potential contamination of groundwater and surface waters. *Environmental Science & Technology*, 32(22), 3465-3471.
- Burkhardt, M., Zuleeg, S., Vonbank, R., Schmid, P., Hean, S., Lamani, X., Bester, K., & Boller, M. (2011). Leaching of additives from construction materials to urban storm water runoff. *Water Science and Technology*, 63(9), 1974-1982. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.128>

- Charters, F. J., Cochrane, T. A., & O'Sullivan, A. D. (2021). The influence of urban surface type and characteristics on runoff water quality. *Science of The Total Environment*, 755, 142470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142470>
- Clara, M. E., T.; Giselbrecht, G.; Gruber, G.; Hofer, T.F.; Humer, F.; Kretschmer, F.; Kolla, L.; Scheffknecht, C.; Weiß, S.; Windhofer, G. (2014). *SCHTURM-Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen (Endbericht)*. <https://info.bml.gv.at/service/publikationen/wasser/Spurenstoffemissionen-aus-Siedlungsgebieten-und-von-Verkehrsflaechen.html>
- Clark Shirley, E., Steele Kelly, A., Spicher, J., Siu Christina, Y., Lalor Melinda, M., Pitt, R., & Kirby Jason, T. (2008). Roofing Materials' Contributions to Storm-Water Runoff Pollution. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(5), 638-645. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:5\(638\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:5(638))
- De Buyck, P.-J., Van Hulle, S. W. H., Dumoulin, A., & Rousseau, D. P. L. (2021). Roof runoff contamination: a review on pollutant nature, material leaching and deposition. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 20(2), 549-606. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09567-z>
- Degenhart, J., & Helmreich, B. (2022). Review on inorganic pollutants in stormwater runoff of non-metal roofs [Review]. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 3. <https://doi.org/10.3389/fenvc.2022.884021>
- DIN EN 16637-2:2023 Construction Products - Assessment of Release of Dangerous Substances - Part 2: Horizontal Dynamic Surface Leaching Test, (2024).
- European Commission. (2012). *Soil sealing, in-depth report*. Science for Environment Policy: EU European Commission's Directorate-General Environment Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52012DC0046>
- European Parliament. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *European Parliament, Strasbourg, France, 2011*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/eng>
- Galster, S., & Helmreich, B. (2022). Copper and Zinc as Roofing Materials-A Review on the Occurrence and Mitigation Measures of Runoff Pollution. *Water*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/w14030291>
- Gromaire, M. C., Chebbo, G., & Constant, A. (2002). Impact of zinc roofing on urban runoff pollutant loads: the case of Paris. *Water Science and Technology*, 45(7), 113-122. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0123>
- Horváth, A., & Clement, A. (2013). What can rainwater dissolve from bitumen shingle roof materials. *Int J Eng Res Appl*, 3(6), 194-199. [https://www.ijera.com/papers/Vol3\\_issue6/AG36194199.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue6/AG36194199.pdf)
- Huber, M., Welker, A., & Helmreich, B. (2016). Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of The Total Environment*, 541, 895-919. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.033>

- Industrieverband Dach- und Dichtungsbahnen. (2022). *Marktzahlen 2021*. Retrieved 07.12.2024 from <https://www.derdichtebau.de/news/marktzahlen-2021/>
- Industrieverband Dach- und Dichtungsbahnen. (2023). *Marktzahlen 2022*. Retrieved 07.12.2024 from <https://www.derdichtebau.de/news/marktzahlen-2022/>
- Kayhanian, M., Fruchtman, B. D., Gulliver, J. S., Montanaro, C., Ranieri, E., & Wuertz, S. (2012). Review of highway runoff characteristics: Comparative analysis and universal implications. *Water Research*, 46(20), 6609-6624. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.07.026>
- Kohzadi, S., Müller, A., Österlund, H., & Viklander, M. (2024). Building surface materials as potential sources of biocides: Insights from laboratory leaching investigations of different material types. *Chemosphere*, 368, 143741. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143741>
- Linke, F., Olsson, O., Preusser, F., Kümmerer, K., Schnarr, L., Bork, M., & Lange, J. (2021). Sources and pathways of biocides and their transformation products in urban storm water infrastructure of a 2 ha urban district. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25(8), 4495-4512. <https://doi.org/10.5194/hess-25-4495-2021>
- Lupsea, M., Tiruta-Barna, L., & Schiopu, N. (2014). Leaching of hazardous substances from a composite construction product--an experimental and modelling approach for fibre-cement sheets. *J Hazard Mater*, 264, 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.017>
- Müller, A., Österlund, H., Nordqvist, K., Marsalek, J., & Viklander, M. (2023). Releases of micropollutants from building surface materials into rainwater and snowmelt induced runoff. *Chemosphere*, 330, 138730. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138730>
- Sulaiman, F. R., Brimblecombe, P., & Grossi, C. M. (2016). Mobilisation of trace elements on roofing tiles. *Indoor and Built Environment*, 25(2), 329-339. <https://doi.org/10.1177/1420326x14549266>
- Udvary, J., Schwerd, R., Johann, S., & Helmreich, B. (2025). Non-metal roofing materials as potential sources of pollutants- laboratory leaching studies on various roofing materials. *Journal of hazardous materials*, 491, 137972. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137972>
- Van der Sloot, H., & Dijkstra, J. (2004). Development of horizontally standardized leaching tests for construction materials: a material based or release based approach?: Identical leaching mechanisms for different materials. In: ECN.
- Vega-Garcia, P., Schwerd, R., Scherer, C., Schwitalla, C., Johann, S., Rommel, S. H., & Helmreich, B. (2020). Influence of façade orientation on the leaching of biocides from building façades covered with mortars and plasters. *Science of The Total Environment*, 734, 139465. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139465>
- Wicke, D., Matzinger, A., Sonnenberg, H., Caradot, N., Schubert, R.-L., Dick, R., Heinzmann, B., Dünnbier, U., von Seggern, D., & Rouault, P. (2021). Micropollutants in urban stormwater runoff of different land uses. *Water*, 13(9), 1312. <https://doi.org/10.3390/w13091312>

**Korrespondenz an:**

Julia Udvary

Technische Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft,  
Am Coloumbwall 3, 8574 Garching, Deutschland

Telefon: +49 89 289 13709

E-Mail: [Julia.Udvary@tum.de](mailto:Julia.Udvary@tum.de)