

URBANES NIEDER- SCHLAGSABWASSER

EMISSIONEN, BELASTUNGEN UND WIRKSAME MASSNAHMEN

Urbanes Niederschlagsabwasser kann durch verschiedene organische und anorganische Stoffe belastet sein, wie Untersuchungen in zwei Berliner Überbauungen und eine begleitende Modellierung klar zeigten. Daher wurden ein Leitfaden sowie Massnahmen-Steckbriefe für Planer und Architekten entwickelt, um die Belastungen an der Quelle oder nachgeschaltet zu reduzieren, bevor sie in Boden und Gewässer gelangen.

Michael Burkhardt; Mirko Rohr, OST – Ostschweizer Fachhochschule*

Daniel Wicke; Roberto Tatis-Muvdi; Pascale Rouault, KWB Kompetenzzentrum Wasser Berlin

Patricia Zerball-Van Baar; Uwe Dünnbier, BWB Berliner Wasserbetriebe

RÉSUMÉ

EAUX DE PLUIE URBAINES – ÉMISSIONS, POLLUTION ET MESURES EFFICACES

Il est bien connu que les eaux de pluie urbaines s'écoulant sont polluées par des composés traces. Ce qui l'est moins en revanche, c'est la dynamique empruntée par ces derniers pour parvenir dans l'environnement ainsi que les mesures concrètes à prendre. Au cours d'un projet sur mandat de l'Office fédéral allemand de l'environnement (UBA), un bilan des flux de matières de deux bassins versants à Berlin a été établi lors d'études de lessivage avec des matériaux de construction menées en laboratoire et d'une modélisation complémentaire. Des mesures réalisables et particulièrement efficaces ont ensuite été élaborées. L'étude de terrain du bassin A s'étendant sur un an et demi a montré que la pollution des écoulements de façades provenait surtout des biocides contenus dans le crépi et la peinture. À cet égard, les substances diuron et terbutryn ainsi que leurs produits de transformation étaient présents de manière dominante. Tandis que les concentrations en diuron et terbutryn provenant des écoulements de façades sont restées élevées jusqu'à la fin de l'étude de terrain, les quantités émises ont varié nettement en fonction des conditions de précipitation. Les émissions étaient particulièrement élevées sur la façade ouest (50% des émissions totales), car cette dernière était la plus exposée aux pluies battantes. Les quantités d'écoulement aux façades représentaient au maximum 5% des précipitations, mais étaient la plupart du temps nettement inférieures

EINLEITUNG

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. Innerhalb von 24 Jahren haben die versiegelten Flächen in der Schweiz um 29% zugenommen [1]. Dies entspricht einer Flächenzunahme von rund 0,75 m² pro Sekunde. Dächer bedecken in Städten bereits einen grossen Teil der Fläche, beispielsweise im Innenstadtbereich von Berlin mehr als 25% der Gesamtfläche.

Der Ressourcenverbrauch ist nicht nur hoch, sondern hinterlässt in der Nutzungsphase spürbare Folgen in der Umwelt. So können durch den Regen Chemikalien aus Gebäuden ausgewaschen werden. Organische Stofffreisetzungen aus Dachbahnen, Holzschutzmitteln, Korrosionsbeschichtungen, Fassadenputzen und -farben sind mittlerweile weithin bekannt [2-6]. Zu den wassermobilisierbaren Stoffen zählen beispielsweise:

- Biozide (z. B. Carbendazim, Terbutryn, Diuron) in organischen, Zink-Pigmente (Zinksulfid, Zinkoxid) in mineralischen Putzen, Dach- und Fassadenfarben
- Biozide in Holzschutzmitteln (z. B. Dichlofluanid, Permethrin, Tebuconazol)

* Kontakt: michael.burkhardt@ost.ch

(Bild: ©chalabala/123RF.com)

- Zusatzmittel in Beton (z.B. Naphtalinsulfonatcondensate)
- Epoxidharze für Korrosionsschutzbeschichtungen (z.B. Bisphenol A, Bisphenol F)
- Durchwurzelungsschutzmittel in Bitumendachbahnen (Mecoprop-P, MCPA)
- Weichmacher in PVC-Kunststoffbahnen (z.B. DIDP, DEHP)
- Vulkanisationsbeschleuniger in Kautschuk-Dichtungsbahnen (z.B. Benzothiazol, Zinkoxid)
- Flammschutzmittel in Kunststoff-Dichtungsbahnen (z.B. Organophosphate TBEP und TCPP)

Mit dem abfließenden Regenwasser gelangen die Stoffe über verschiedene Eintragswege, oft durch Drainagen und Oberflächenabfluss begünstigt, in die Umwelt [7-12]:

Kläranlage (Mischkanalisation)

Bei der Ableitung zur Kläranlage wird Regenwasser zwar behandelt, allerdings ist die Reinigungsleistung für gewisse Spurenstoffe oft ungenügend [8]. Ausserdem können bei Starkregen die Wassermengen nicht vollständig behandelt werden und gelangen über Mischwasserüberläufe an der Kläranlage vorbei direkt ins Gewässer.

Direkteinleitung (Trennkanalisation)

Bei der Direkteinleitung über einen Regenkanal ins Oberflächengewässer wird der Regenabfluss häufig ohne Behandlung eingeleitet.

Versickerung (Trennkanalisation)

Bei der Versickerung wird der Regenabfluss z.B. in Mulden, Mulden-Rigolen oder technischen Versickerungsanlagen behandelt. Partikuläre und Schwermetalle lassen sich meistens gut zurückhalten. Bei organischen Spurenstoffen ist aber der Rückhalt oft ungenügend.

Ein gewisser Stoffanteil verbleibt im Liegenschaftsbereich, z.B. wenn Wasser am Sockelbereich von Fassaden auf Boden oder Wege tropft. Die genauen Mengenverhältnisse sind aber unbekannt.

Für Substanzen wie Diuron oder Terbutryn sind Zielwerte für Oberflächengewässer festgelegt. In Deutschland existiert dafür eine stoffspezifische Jahresdurchschnittskonzentration und zulässige Höchstkonzentration [13]. In der deutschen Grundwasserverordnung sind

zudem maximale Konzentrationen für organische Substanzen festgelegt. Für Pflanzenschutzmittel und Biozide gilt, dass die Summe aller Substanzen einschliesslich relevanter Transformationsprodukte 0,5 µg/l und die Konzentration jeder Einzelsubstanz 0,1 µg/l nicht überschreiten darf [14].

Die wesentlichen Zusammenhänge zwischen der Stoffherkunft und dem Vorkommen in der Umwelt dürften als bekannt eingestuft werden. Auch deshalb soll gemäss VSA-Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» [15] die potenzielle Belastung drei Klassen (gering, mittel, hoch) zugeordnet werden, um damit in der Planungsphase Belastungen zu vermeiden, zu vermindern oder mit einer Behandlung aus dem Regenabfluss zu entfernen.

Quellenorientierte und nachgeschaltete Massnahmen sind daher sinnvoll. Weniger klar ist noch, welchen Verlauf die Emissionen und Belastungen im Niederschlagsabwasser über die Zeit aufweisen und welche konkreten Massnahmen zur Reduktion der diffusen Einträge besonders wirksam sind. Da regenbedingte Stoffeinträge, die durch Witterungsverlauf sowie Art und Alter der Bauprodukte beeinflusst sind, einer hohen Variabilität unterliegen, stellt die Erfassung eine hohe Herausforderung an Probenahme und Analytik dar.

Deshalb wurden im Auftrag vom deutschen Umweltbundesamt (UBA) in zwei Untersuchungsgebieten (Gebiete A und B) in Berlin, in Laborversuchen und mittels Modellierung die Transferwege bilanziert und die möglichen Risiken beurteilt [16]. Ergänzend wurden Massnahmen für die Praxis entwickelt (*Box 1*) [17].

Nachfolgend werden hauptsächlich Ergebnisse vom Gebiet A vorgestellt.

UNTERSUCHUNGEN IN BERLIN

STANDORTE UND VORGEHEN

Im Gebiet A, bestehend aus sieben mehrstöckigen Wohngebäuden mit Plätzen und Zufahrtswegen, wurden die Abflussmengen und Stoffemissionen an ausgewählten Fassaden und Dächern exemplarisch erfasst sowie das Vorkommen der Stoffe im Regenkanal bilanziert. Die Probenahmen im Kanal, an Dach und Fassaden erfolgten volumenproportional. An den West- und Nordfassaden waren dafür 1 m lange Rinnen montiert. Über 18 Monate (September 2018 bis März 2020)

wurden an jeder Messstelle 20 Regenereignisse, die rund 50% des Gesamtniederschlags in der Messperiode abdecken, für chemische Analysen ausgewählt. Die Auswahl der zu analysierenden Proben berücksichtigte die saisonale Verteilung und verschiedene Abflussmengen. Zusätzlich wurden Fassadenrinnen an den Süd- und Ostseiten installiert, um eine vollständige Abflussbilanz am Gebäude zu erstellen.

Das Regenwasser, das vor Ort in den Boden oder in die Versickerung gelangte, wurde experimentell ebenso wenig bestimmt wie die effektiven Belastungen im Oberflächengewässer nach der Direkteinleitung (Spree).

Die analysierte Stoffauswahl umfasste fünf Schwermetalle (ICP-MS) und 30 organische Spurenstoffe inkl. gewisser Transformationsprodukte (LC-MS/MS), die nach einem vorgängigen Stoff-Screening (non-target, GC-MS und LC-HRMS) in realen Stich- und Laborproben mit den gleichen Bauprodukten (*s. u.*) festgelegt wurden.

Für die Überbauungen waren die eingesetzten Bauprodukte bekannt, sowohl hinsichtlich der Flächenmengen als auch Produktzusammensetzungen. Daraus wurde ein Inventar der eingesetzten Materialien erstellt und die potenziell eluierbaren Stofflager bilanziert. Für die meisten regenwasserrelevanten Bauprodukte wurde ausserdem das Auslaugverhalten in europaweit harmonisierten Elutionstests bestimmt (EN 16105:2011-12 sowie EN 16637-2:2021).

ERGEBNISSE ZUR EMISSION UND BELASTUNG

Die Auswaschung dieser Biozide ist auch drei Jahre nach Fertigstellung der Gebäude klar nachweisbar und der Verlauf der Konzentrationen zeigt keine Abnahme über die Messperiode.

Im Fassadenabfluss der West- und Nordseite wurden die höchsten mittleren Konzentrationen für Diuron (900 µg/l), dessen

MASSNAHMEN FÜR DIE PRAXIS

Das dreijährige Projekt «Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt – Wegweisung für Regelgebung und Akteure» (BaSaR) wurde durch das deutsche Umweltbundesamt (UBA) gefördert und durch das Fachgebiet III 1.4 «Stoffbezogene Produktfragen» begleitet.

Box 1

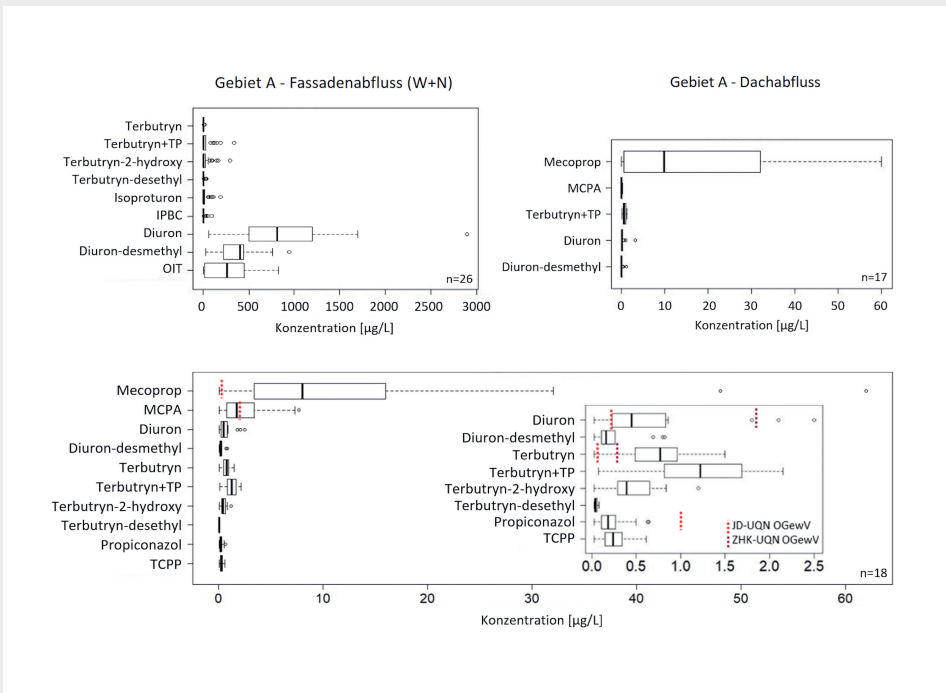


Fig. 1 Spurenstoffkonzentrationen im Fassaden-, Dach- und Gebietsabfluss (Regenkanal) von Gebiet A. Zwar dominieren wenige Einzelstoffe, jedoch treten weitere in gewässerrelevanten Konzentrationen auf.

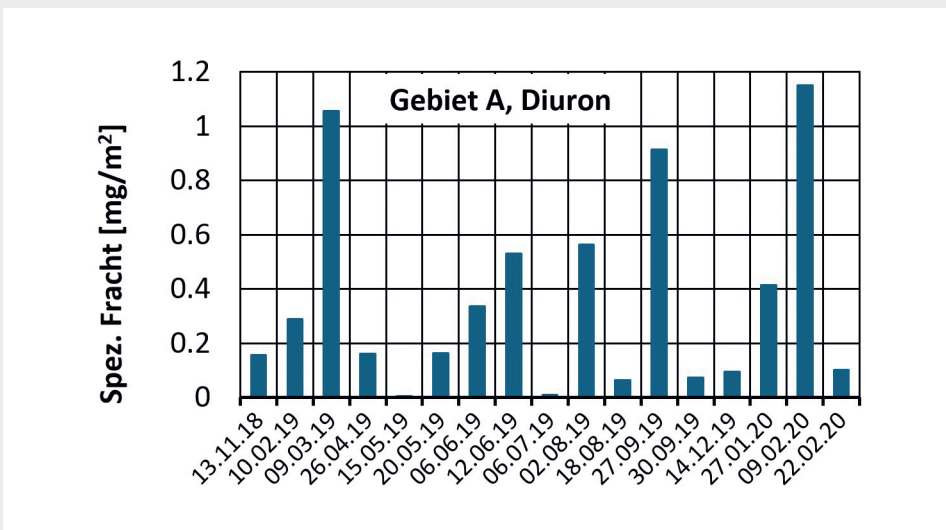


Fig. 2 Ereignisbasierte spezifische Diuron-Fracht (mg/m²) an der Westfassade im Gebiet A in Berlin ohne nachweisbare saisonale Schwankungen.

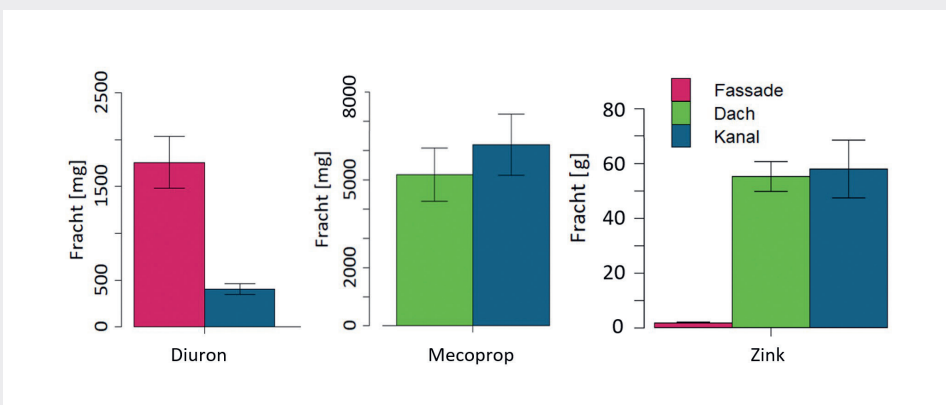


Fig. 3 Diuron- und Mecoprop-Frachten im Fassaden- und Dachabfluss, der in den Regenkanal mündet, sowie im Regenkanal für 20 Regenereignisse.

Transformationsprodukt Desmethyl-Diuron (DCPMU, 375 µg/l) sowie OIT (350 µg/l) gemessen (Fig. 1). Diuron und OIT sind im verwendeten Oberputz als verkapselte Filmschutzmittel eingesetzt. In der gestrichenen Nordfassade wurden ausserdem Terbutryn, Isoproturon und IPBC nachgewiesen, die in der Fassadenfarbe eingesetzt sind. Für Terbutryn waren die mittleren Konzentrationen mit 7 µg/l eher gering und die vom Transformationsprodukt Hydroxy-Terbutryn mit 95 µg/l deutlich höher. Hydroxy-Terbutryn wird durch UV-Strahlung gebildet. Isoproturon ist gegenüber den anderen Bioziden besser wasserlöslich und trat mit einer mittleren Konzentration von 68 µg/l auf.

Die spezifischen Frachten von Diuron im Fassadenabfluss der Westfassade liegen zwischen 0,01 und 1,1 mg/m² (Fig. 2). Die hohe Variabilität ist auf die variierenden Schlagregennengen bei den einzelnen Regenereignissen zurückzuführen und verdeutlicht die Dynamik der Freisetzung.

Der Anteil eines Niederschlagsereignisses, der durch den Wind (Richtung, Geschwindigkeit) abgelenkt als Schlagregen auf die Fassaden trifft, umfasste maximal rund 5%, in der Regel aber weniger als 1%. Das Maximum pro Ereignis lag an der Westfassade (Hauptwindrichtung) bei 1,0 l/m² und an der Ostfassade bei 0,4 l/m². Der kumulierte Fassadenabfluss betrug selbst an der Westfassade nur 8 l/m² über 18 Monate. Vom gesamten Fassadenabfluss eines Gebäudes steuert die Westfassade rund 50% bei.

Im Dachabfluss wurde das Durchwurzelungsschutzmittel Mecoprop als einziger Spurenstoff in Konzentrationen bis 60 µg/l gefunden. Diuron, Terbutryn und deren Transformationsprodukte wurden zwar ebenfalls detektiert, die Konzentrationen lagen aber mit <0,5 µg/l gegenüber den Fassadenabflüssen deutlich niedriger. Ursache könnten kleine gestrichene Flächen im Dachbereich sein.

Im Regenwasser, welches in die Spree gelangt, wurden unter allen 30 analysierten Spurenstoffen für Mecoprop mit Abstand die höchsten Konzentrationen und Gesamtfrachten nachgewiesen, da ein hoher Anteil der Abflussmenge durch die Dachentwässerung beigetragen wird (Fig. 3). Die Konzentrationen von Diuron, Terbutryn und deren Transformationsprodukten schwankten zwischen 0,2 und 2,5 µg/l. Von den über gepflasterte Hofflä-

chen mit dem Regenkanal in Verbindung stehenden Fassaden gelangten aber nur etwa 25% der emittierten Diuron-Fracht in den Regenkanal, während der grössere Anteil auf der Wegstrecke verblieb (Fig. 3).

Die höchsten Konzentrationen bzw. Stofffrachten, die 10-mal höher liegen als von Mecoprop, verbinden sich mit Zink. Aus den Fassaden emittierten nur kleine Mengen, hingegen stammte der wesentliche Anteil von verzinkten Blechen (z. B. Entlüftungsröhre) auf den Dächern. Ein Vergleich der Konzentrationen mit den Umweltqualitätsnormen (UQN), die für Oberflächengewässer gelten, zeigt, dass die UQN für Terbutryn, Diuron und Mecoprop im Regenwasserabfluss klar überschritten werden. Daraus lässt sich schliessen, dass vor allem in kleinen Gewässern bei Regenwetter eine ungenügende Verdünnung auftreten kann.

MODELLIERUNG DER BELASTUNG

Nachfolgend wird auf das in der Umwelt vergleichsweise langlebige Biozid Diuron fokussiert, das in Fassadenbeschichtungen zum Filmschutz eingesetzt wird, um einen methodischen Einblick in die erarbeitete Belastungsabschätzung und Risikobeurteilung für die Stoffemissionen und Oberflächengewässer zu geben [16].

KONZEPTIONELLES VORGEHEN

Die Software COMLEAM (*Construction Material LEACHing Model*) (Box 2) diente dazu, die Stoffemissionen aus den Gebäuden und die Gewässerbelastungen dynamisch zu berechnen, die Stofffreisetzung zu bilanzieren und Massnahmen bezogen auf ihre Wirksamkeit zu priorisieren.

Für die Modellierung der Freisetzungsdynamik der Biozide wurden Laborresultate verwendet, im vorliegenden Fall für den im Einzugsgebiet verwendeten Fassadenputz, der den Wirkstoff verkapselt enthält. Aus dem Immersionstest (EN 16105) lagen neun Datenpunkte zum Auswaschverhalten vor. Durch eine logarithmische Emissionsfunktion liessen sich die Datenpunkte beschreiben [18]. Anschliessend wurden im Modell für das überbaute Gebiet A die Gebäudegeometrien (Dach- und Fassadenflächen) und versiegelten Umgebungsflächen (Wege, Plätze etc.) flächentreu nachgebildet, bei den Fassaden auch die Expositionsrichtung festgelegt. Für die Fassaden wurde ein Abflussbeiwert von 0,7 festgelegt. Einbe-

zogen wurden Wetterdaten in stündlicher Auflösung vom Berliner Standort (Niederschlag, Windrichtung, -geschwindigkeit), um die Wasserflüsse zu modellieren. Zusätzlich wurden Wetterdaten über einen Zeitraum von fünf Jahren verwendet, um in mehreren Szenarien die Bedeutung gewisser Einflussfaktoren, wie Gewässergrosse oder standortspezifische Witterung, auf die mögliche Belastung zu untersuchen.

Die Vorhersagegüte des modellierten Schlagregens wurde geprüft, indem die Simulationen ohne Parameteroptimierung durchgeführt und direkt mit den realen Messungen verglichen wurden. Die verwendeten Messdaten beziehen sich auf ereignisbezogene Fassadenablaufmengen, die durch die Proberinnen von den darüber liegenden Flächen aufgefangen wurden.

Anschliessend wurden die Regenwasserbelastungen unter Berücksichtigung der Stoffkonzentrationen im Fassadenablauf und im Kanal berechnet. Die potenzielle 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 UQN herangezogen.

MODELLGESTÜTZTE ERGEBNISSE

Der vorhergesagte Abfluss an allen Gebäudefassaden zeigt eine hohe Übereinstimmung zu den gemessenen 27 Ereignissen, sowohl bezogen auf die Streuung als auch die Abflussmengen. Für Gebiet A beträgt der simulierte Abfluss, kumuliert

COMLEAM UND MATERIALDATENBANK

Die Software COMLEAM (*Construction Material Leaching Model*), entwickelt von der OST – Ostschweizer Fachhochschule, zur dynamischen Modellierung der Stoffauswaschung aus Bauprodukten kann den zeitlichen Verlauf des Stoffaustrags aus Fassaden, Dächern, Gebäuden oder Siedlungen abschätzen. Sie ermöglicht die Vorhersage von Stoffkonzentrationen im abfliessenden Niederschlagswasser und in Gewässern. Die Software ist frei verfügbar unter: www.comleam.ch

Für Modellierungen und als Referenzdatenbank wurde die «Swiss Construction Materials Database» (SCMD) aufgebaut. Diese umfasst mittlerweile über 70 Bauprodukte mit deren Auswaschverhalten sowie physische Materialmuster.

Box 2

über 1,5 Jahre, 12,51/m² und der gemessene 8,41/m² (Fig. 4). Die Überschätzung im Bereich von 30% verbindet sich hauptsächlich mit drei Starkregenereignissen je > 30 mm. Zu diesen Zeitpunkten war das effektive Windfeld abweichend von dem an der ca. 1 km entfernt gelegenen Wetterstation. Würden diese Datenpunkte nicht berücksichtigt, lägen die Abweichungen unter 10%. Abschattungen durch Bäume, Sträucher oder Nachbargebäude bedingen weitere Abweichungen, aber auch Turbulenzen während Starkregen, die mit stündlich aufgelösten Messdaten nur grob beschrieben werden können.

Die simulierte Abflussmenge im Regenkanal, der die angeschlossenen Flächen im Einzugsgebiet entwässert, entspricht

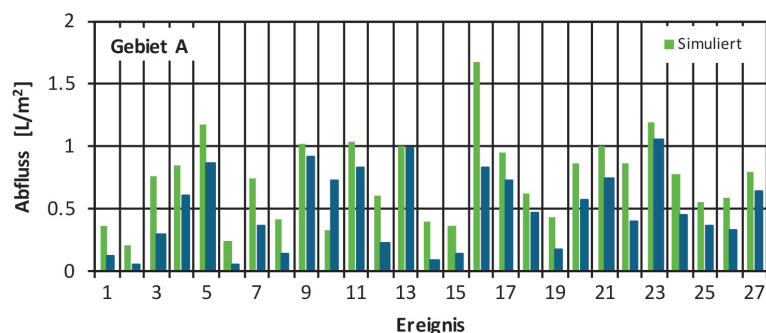


Fig. 4 Gemessener und simulierter Fassadenabfluss für alle Fassadenseiten im Gebiet A. Berücksichtigt sind 27 Fassadenabflussereignisse jeweils mit Regenhöhen ≥ 10 mm.

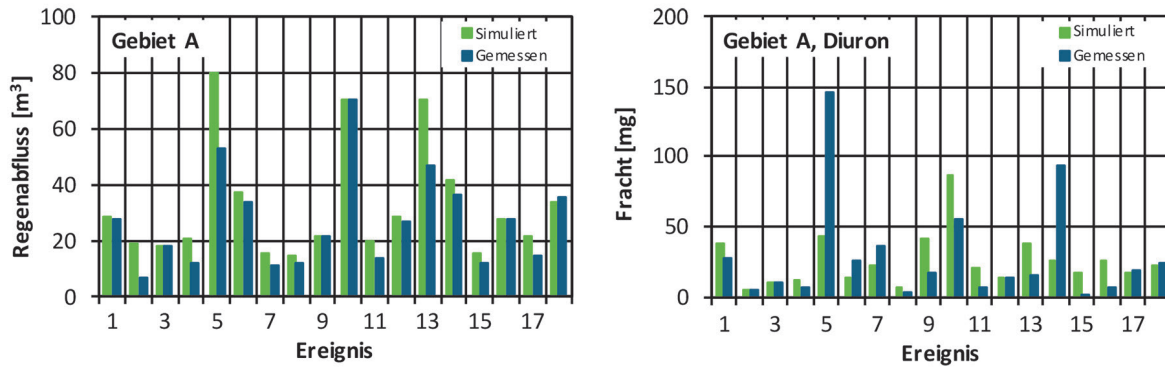


Fig. 5 Gemessener und simulierter Regenabfluss (links) und korrespondierende Diuron-Fracht (rechts) im Regenkanal.

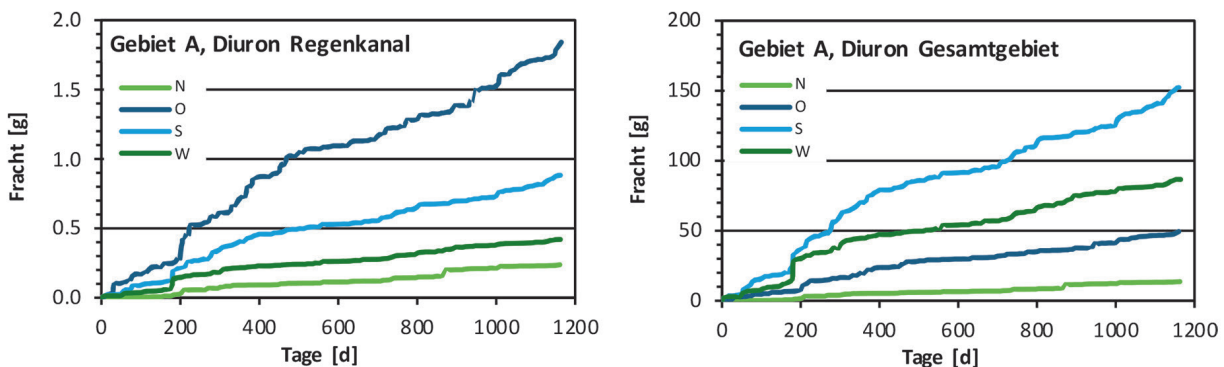


Fig. 6 Kumulierte expositionsabhängige Diuron-Fracht aller Gebäudefassaden der Überbauung in den Regenkanal (links) und ins gesamte Gebiet A (rechts). Die szenariobasierten Simulationen erstrecken sich über fünf Jahre ab Baubeginn.

etwa 120% der gemessenen Menge und stammt zu 30% von Plätzen und Wegen und >60% von Dächern (Fig. 5). Die Fassadenabflüsse sind mit 0,02% am Gesamtabfluss mengenmässig unbedeutend, wobei davon die Ostfassaden (2200 m²) 65% beitragen, gefolgt von der Süd- (1850 m²) und der Westseite (1250 m²) mit je 8% Anteil. Die Überschätzung der Abflussmengen im Regenkanal beruht einerseits auf zwei grossen Einzelereignissen, andererseits auf den im Modell festgelegten generischen Abflussbeiwerten für alle Oberflächen, die von den effektiven in der Realität abweichen dürften.

Die Modellierung der Stoffemission unterstreicht die starke Expositionsorientierung. So stammen 75% der insgesamt emittierten Diuron-Fracht von West- und Südfassaden. Die berechnete Diuron-Fracht der in den Regenkanal entwässernden Fassadenflächen liegt nur rund 9% unter der gemessenen Fracht

(476 vs. 522 mg) (Fig. 5). Der Unterschied basiert wiederum auf zwei Ereignissen, bei denen die Messwerte um rund das Fünffache über den simulierten Konzentrationen lagen. In den Regenkanal gelangte aber vor allem Diuron von den Ostfassaden, gefolgt von den Südfassaden, weil deren Entwässerung dahin führte (Fig. 6).

Die modellgestützte, expositionsabhängige Emissionsabschätzung im Gebiet A zeigt weiterhin, dass die Diuron-Fracht (3,4 g) im Regenkanal gegenüber der Gesamtemission von allen Fassaden (305 g) rund 100-mal kleiner ist (Fig. 6). Aus der Differenz von Gesamtemission und Emission in den Regenkanal ergibt sich folglich, dass im Gebiet A nur 1% der ausgewaschenen Biozidmenge in den Regenkanal gelangt, der in die Spree einleitet, während 99% der Fracht im Gebiet verbleiben. Die in den Regenkanal transportierte Diuron-Fracht reicht dennoch aus,

um Konzentrationen oberhalb der UQN für Gewässer zu erreichen. Aufgrund der Modellierung ist auch zu erwarten, dass Pulsbelastungen noch einige Jahre nach Fertigstellung auftreten können und besonders kleine Gewässer überproportional stärker belasten als grosse (Szenario gerechnet mit 50 vs. 500 l/s). Die Dauer von möglichen Überschreitungen als auch die Anzahl nehmen hierbei überdurchschnittlich zu. Überregionale Standortunterschiede waren gegenüber den jährlichen Schwankungen der Witterung von geringerer Bedeutung (z. B. Hamburg, Berlin, München).

MASSNAHMEN ZUR REDUKTION

Entworfen wurden ein Leitfaden und drei Massnahmen-Steckbriefe für Dächer, Fassaden und Grundstücksentwässerung [18]. Für alle Massnahmen gilt, dass eine ganzheitliche Planung, fachgerechte Bau-

ausführung und der sichere Betrieb und Unterhalt von Gebäuden und Anlagen von zentraler Bedeutung für eine hohe Wirksamkeit sind. Bereits in der Planungs- und Ausschreibungsphase sollten Pflege- und Wartungsempfehlungen berücksichtigt und detailliert beschrieben werden [19]. Exemplarisch werden Auszüge aus den Steckbriefen vorgestellt (Fig. 7) [17].

QUELLENORIENTIERTE MASSNAHMEN

Eine Vermeidung oder Verringerung des Einsatzes von Produkten mit umweltrelevanten Substanzen führt zur unmittelbaren Entlastung der Umwelt. Dazu gehören beispielsweise Bauprodukte mit geringem Auswaschpotenzial sowie konstruktionsbedingte Schutzmassnahmen. Werden Lösungen kombiniert, ist eine Belastungsreduktion um mindestens 90% möglich.

Dort, wo es trocken ist, können keine Algen und Pilze wachsen oder Biozide ausgewaschen werden. Deshalb gehört zum konstruktiven Witterungsschutz ein Dachüberstand (bevorzugt > 50 cm). Die heutige Architektur begünstigt aber die Feuchtbelastung an Fassaden mit Dachvorsprüngen < 10 cm, die zwar normgerecht sind, aber nicht einer übermässigen Schlagregenbelastung entgegenwirken. Das Gebäude steht «nackt» im Regen.

Materialien ohne stoffliche Belastung sind prioritär einzusetzen. Da Oberflächen, die schnell abtrocknen, weniger anfällig für Befall mit Algen und Pilzen sind, kommen sie oft ohne Biozide aus. Hydraulisch optimiert sind beispielsweise hydrophile mineralische Putze und Farben, wenn sie sich durch eine konnektive Porenstruktur auszeichnen. Weitere Alternativen sind Klinker, Glas, Beton oder Holz, sofern keine problematischen Auswaschungen auftreten.

Weiterhin sollten Produktformulierungen, bezogen auf die Stofffreisetzung, mindestens auswaschreduziert, bestenfalls die Stoffe in der Umwelt schnell abbaubar sein, weil sich damit eine geringe Regenabwasserbelastung und eine längere Lebensdauer der Produkte verbinden. Gelangen beispielsweise die in der Umwelt leicht abbaubaren Isothiazolinone (OIT, DCOIT) und IPBC mit dem Regenwasser ins Gewässer, sind sie schon nach drei Tagen zu rund der Hälfte abgebaut. Durch eine besonders gute Verkapselungstechnologie bleiben diese Biozide trotzdem über Jahre in der Fassadenbe-

schichtung erhalten. Um gering belastende Produkte identifizieren zu können, sind sowohl die potenziellen Emissionen seitens Hersteller auszuweisen als auch durch Architekten und Planer gezielt nachzufragen.

Auf Metallflächen sind Chromstahl und Aluminium oder beschichtete Zink- und Kupferprodukte mit Nachweis einer Auswaschreduzierung und Dauerhaftigkeit einzusetzen. Werden grössere unbeschichtete Kupfer- oder Zinkflächen realisiert, ist eine Behandlung des Abflusses vorzusehen [15].

Für Dachabdichtungen können Polyolefin-Bahnen (FPO, TPO), teilvernetzte EPDM-Bahnen, Bitumenbahnen ohne Wurzelschutz oder wurzelfeste Bitumenbahnen nachweislich ohne chemisches Schutzmittel oder mit reduzierter Auswaschung empfohlen werden. Dachziegel und -steine mit inerten Beschichtungen wie Engoben oder Glasuren sind ebenfalls vorteilhaft. Damit Dächer und Fassaden lange schön bzw. funktionstüchtig bleiben, sind sie regelmässig zu unterhalten. Dazu gehören Sichtkontrollen durch Fachpersonen ebenso wie entsprechende Unterhalts- und Reparaturarbeiten. Eine Instandhaltungsanleitung ist bei der Übergabe des Gebäudes auszuhändigen.

NACHGESCHALTETE MASSNAHMEN - REGENWASSERBEHANDLUNG

Lässt sich eine Belastung nicht vermeiden, kann eine nachgeschaltete dezentrale Be-

handlung des Niederschlagsabwassers erforderlich sein. Die in der Umwelt unerwünschten Stoffe werden dabei in Substraten oder im Boden akkumuliert. Nach einer gewissen Betriebszeit sind deshalb die akkumulierten Stoffe zu entsorgen.

Stoffbelastungen im Regenwasser lassen sich mit naturnahen Systemen reduzieren, indem der Abfluss über eine belebte Bodenzone versickert wird. Während Partikel und Schwermetalle meistens gut zurückgehalten werden, sind bei anderen Schadstoffen die Eigenschaften des Bodens für einen ausreichenden Stoffrückhalt erst zu klären. Die Durchlässigkeit des Bodens sollte gut ($k_f > 10^{-4}$ m/s) bis mässig sein ($k_f > 10^{-6}$ m/s) und idealerweise 10 bis 20% Tongehalt aufweisen. Mögliche Systeme sind z.B. Mulden- und Flächenversickerungen. Bei mässiger Sickerfähigkeit des Unterbodens bieten sich z.B. Mulden-Rigolen an.

Technische Systeme zur Behandlung von Regenwasserabflüssen zeichnen sich durch eine kompakte Bauweise und ein adsorbierendes Substrat aus. Zu den möglichen Systemen gehören unterirdische Filteranlagen und Rinnen, verfügbar in verschiedenen Baugrössen und Standzeiten. Mit einigen Substraten kann auch stark belasteter Regenabfluss von organischen Spurenstoffen oder Schwermetallen gereinigt werden. Das Substrat muss für die abzutrennenden Schadstoffe geeignet sein (z.B. Schwermetalle, Biozide), ggf. auch den natürlichen Stoffabbau begünstigen.



Fig. 7 Schematische Anordnung von möglichen Massnahmen an Dach, Fassade und Grundstück [17].

tigen. Vom Hersteller sind ein Nachweis zur Leistungsfähigkeit und ein Konzept für Wartung und Unterhalt vorzulegen.

REGENWASSERRETENTION

Eine gute Regenwasserbewirtschaftung ist ein zentrales Element der wassersensiblen Stadtentwicklung. Zu dieser Strategie gehört, dass das Regenwasser möglichst vor Ort zurückgehalten wird (Retention), um es zu verdunsten, zu versickern oder wiederzuverwenden. Dies wirkt einem Überlaufen der Kanalisation entgegen, trägt zur Grundwasserneubildung bei, fördert die Verdunstung und kann Belastungen in Gewässern reduzieren.

Zur Retention zählen künstliche Wasserflächen, multifunktional nutzbare Versickerungsmulden, Sickerbeläge oder unterirdische Retentionsanlagen. Retentionsanlagen benötigen systemangepasste Kontroll- und Unterhaltsintervalle.

Begrünte Dächer und Fassaden stellen ein wesentliches Gestaltungselement der grünen Stadtarchitektur dar. Eine Begrünung verbessert das Mikroklima, schützt das Gebäude vor direktem Witterungseinfluss (Alterung geringer), kühlt das Gebäude und reduziert die abfließende Regenmenge. Dadurch werden weniger Stoffe ausgewaschen und mögliche Belastungen verringert.

Flachdächer lassen sich bis 15° Neigung mit einer Begrünung von mindestens 10 cm Substratdicke ausführen. Zudem sollte stets eine Intensivbegrünung geprüft werden, weil Substrat > 50 cm bereits > 90% des Niederschlags zurückhalten kann.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die Stofffrachten wurden durch Zink und die vergleichsweise langsam abbaubaren Spurenstoffe Mecoprop, Diuron und Terbutryn dominiert. Die Auswaschung korreliert mit Regenereignissen, die in beiden Untersuchungsgebieten zu ausgeprägten Schadstoffspitzen im Niederschlagsabwasser führten. Alle fünf Stoffe überschreiten im abfließenden Regenwasser die für Oberflächengewässer geltenden Qualitätsziele. Zu berücksichtigen ist, dass die effektiv auftretenden Konzentrationsspitzen während eines mehrstündigen Ereignisses sogar noch höher ausfallen als die vorgestellten Er-

eigniskonzentrationen, wie die Modellierung für Gewässer klar aufzeigt.

Die Modellierung verdeutlichte zudem die relevanten Emissions- und Transmissionsparameter, wie den Einfluss standortbedingter Niederschlagsverteilungen und Gewässergrößen, und ermöglichte vollständige Stoffbilanzen über mehrere Jahre. Bemerkenswert ist die gute Abbildung der Pulsbelastungen, die für die Risikobetrachtungen einen hohen Stellenwert (akute Qualitätsziele) einnehmen. Die Stossbelastungen betreffen meistens urban geprägte, kleine Gewässer. Um den Abfluss von Regenwasser zu verringern und den Austrag von Schadstoffen zu vermeiden oder zu vermindern, ist ein ganzheitliches Konzept für den guten Umgang mit Regenwasser erforderlich. Mit der richtigen Produktwahl und Gestaltung lässt sich die Freisetzung von umweltrelevanten Stoffen wie Bioziden und Schwermetallen vermeiden. Bei der Planung der Gebäudehülle, der Entwässerung und bei der Bewilligung sollten die Lösungen integriert werden. Da kritische Lastfälle besonders in kleinen Gewässern oder der Versickerung auftreten können, sind dort Massnahmen an der Quelle oder nachgeschaltet bedeutsam.

Mögliche Emissionen von Bauprodukten sowie die geeigneten Massnahmen zu kennen und anzuwenden ist essenziell. Zur Vermeidung von Belastungen dienen

beispielsweise die Empfehlungen auf der VSA-Internetseite [18]. Damit lässt sich den Belastungen durch Bauprodukte entgegensteuern und die abfließenden Regenmengen minimieren. Da nachhaltiges Bauen aber häufig noch immer bevorzugt auf energetisch optimiertes Bauen ausgerichtet ist und weder Handlungsdruck noch effektive Anreize für Veränderungen bestehen, finden viele gute, selbst kostengünstige Lösungen nur langsam Eingang in die Baupraxis. Deshalb drängt sich eine Ausweitung des Weiterbildungsangebots auf, um die Massnahmenempfehlungen in der Praxis zu etablieren.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bundesamt für Statistik: www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltindikatoren/alle-indikatoren/nutzung-natuerliche-ressourcen/siedlungsflaechen.html
- [2] Burkhardt, M. et al. (2012): Leaching of Biocides from Façades under Natural Weather Conditions. *Environmental Science & Technology*, 46(10): 5497-5503
- [3] Vermeirssen, E. et al. (2017): Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment. *Water Research*, 123: 586-593
- [4] Müller, A. et al. (2019): Building surface materials as sources of micropollutants in building runoff: A pilot study. *Science of the Total Environment*, 680: 190-197
- [5] Burkhardt, M. et al. (2020): Niederschlagswasser

> SUITE DU RÉSUMÉ

à 1%. Les écoulements du toit ont uniquement révélé la présence de mecoprop, qui s'est combiné avec le taux de charge le plus élevé dans la canalisation de pluie. Il convient de noter que le zinc était encore dix fois supérieur à la charge en mecoprop. Les normes de qualité environnementale (NQE) allemandes pour les eaux de surface, ou plutôt les propositions de NQE, ont été dépassées dans la canalisation de pluie pour les biocides présentés et le zinc. Comme le montre la modélisation réalisée à l'aide de COMLEAM, un dépassement des NQE peut aussi se produire plusieurs années après l'achèvement, surtout dans les petits cours d'eau urbains. De plus, le bilan des flux de matières du bassin A a montré que seul environ 1% des émissions totales arrivait dans la canalisation de pluie, tandis que la majeure partie restait dans le bassin et s'infiltrait de manière ciblée ou diffuse. Les mesures ont été rassemblées au sein d'un guide et de trois fiches d'information (toit, façade et évacuation des eaux des biens-fonds). Il est décisif pour toutes les mesures de réduire constamment les quantités d'écoulement grâce à la végétalisation des toits et façades et à des mesures de rétention. Afin d'éviter ou de minimiser la pollution par les substances, il est opportun d'avoir p. ex. recours à des optimisations architecturales pour maintenir les façades sèches, à des matériaux de construction sans substances mobilisables dans l'eau et problématiques pour l'environnement, à des produits au lessivage réduit, à des installations de traitement bien choisies, ainsi qu'à un entretien régulier de l'enveloppe du bâtiment. Les mesures se distinguent par leur degré élevé de faisabilité. Encore peu connues, il est notamment recommandé d'améliorer l'offre de formation continue pour les architectes et les planificateurs.

von Kunststoffdachbahnen - Auslaugung von Stoffen und deren Ökotoxizität für aquatische Organismen. *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 13(8): 418-424

- [6] Burkhardt, M. et al. (2021): Entwicklung einer emissionsbasierten Bauproduktbewertung - Anwendung des Konzepts für Dachbahnen und Fassadenputze. Zürich: Schweizer Bundesamt für Umwelt BAFU, Sektion Konsum und Produkte; Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB, Fachstelle Nachhaltiges Bauen
- [7] Björklund, K. et al. (2009): Phthalates and nonylphenols in urban runoff: Occurrence, distribution and area emission factors. *Science of the Total Environment*, 407, S. 4665-4672
- [8] Bollmann, U. et al. (2014): Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment - Concentrations, mass loads and emission processes. *Water Research* 56: 66-76
- [9] Lange, J. et al. (2017): Urbane Regenwasserver-sickerung als Eintragspfad für biozide Wirkstoffe in das Grundwasser? *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 198-202
- [10] Wicke, D. et al. (2021): Micropollutants in Urban Stormwater Runoff of Different Land Uses, *Water* 13(9), 1312
- [11] Burkhardt, M. et al. (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
- [12] Pajens, C. et al. (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
- [13] OGeV (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer. *BGBI. I S. 1373*
- [14] GrwV (2017): Verordnung zum Schutz des Grundwassers vom 9. November 2010 (BGBI. I S. 1513), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBI. I S. 1044)
- [15] VSA (2019): Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter. Basismodul B, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Glattbrugg
- [16] Wicke, D. et al. (2021): Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt. UBA Texte, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- [17] UBA (2021): Leitfaden und Steckbrief 1, 2 und 3: Grundsätze für die Planung von Dächern, Fassaden und Grundstücksentwässerung www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/bauprodukte/studien-zur-messung-vermeidung-bewertung-von-schadstoffe-aus-gebaeuden-in-der-urbanen-umwelt
- [18] VSA-Website: https://vsa.ch/Mediathek/prio0_abfluss_und_belastung_des_niederschlagwassers

DrainJet®
robotics

DRAINJETROBOTICS.CH

+41 81 599 44 41



**KALK IM ROHR? GRABENLOSE
LÖSUNGEN MIT WASSERHÖCHSTDRUCK!**