

Tagungsband

# Aqua Urbanica

2022 | 14./15. November 2022  
Glattfelden, Schweiz

## «Grün statt grau.»

Mit Blau-Grünen Infrastrukturen gemeinsam  
die Siedlungsentwässerung der Zukunft planen.



V S A

[www.aqua-urbanica.org](http://www.aqua-urbanica.org)

eawag  
aquatic research

## Impressum

Der vorliegende Tagungsband beinhaltet die Beiträge der D-A-CH Veranstaltungsreihe Aqua Urbanica im Jahr 2022, welche gemeinsam mit dem VSA von der Abteilung für Siedlungswasserwirtschaft der Eawag vom 14.11.-15.11.2022 im Seminarhotel Riverside veranstaltet wurde. Der Inhalt der Beiträge unterliegt der Eigenverantwortung der Autorinnen und Autoren. Die redaktionelle Bearbeitung erfolgte durch Andy Disch und Jörg Rieckermann.

### PROGRAMMKOMITEE

Eawag/ETH Zürich: Max Maurer und Jörg Rieckermann, TU Graz: Dirk Muschalla und Günter Gruber, TU Kaiserslautern: Ulrich Dittmer und Christian Scheid, Universität Innsbruck: Wolfgang Rauch und Manfred Kleidorfer, OST Ostschweizer Fachhochschule Rapperswil: Michael Burkhardt und Christian Graf, TU München: Brigitte Helmreich und Philipp Stinshoff

### ORGANISATIONSKOMITEE

Selita Telli (VSA), Noemi Probst und Max Maurer (ETH Zürich), Andy Disch und Jörg Rieckermann (Eawag)

## Urheberrecht und Lizenzierung

Für alle Artikel, die in dem Tagungsband der Aqua Urbanica veröffentlicht werden, liegt das Urheberrecht bei den Autor:innen. Die Artikel sind unter einer **Open Access Creative Commons CC BY 4.0-Lizenz** lizenziert, was bedeutet, dass jeder den Artikel kostenlos herunterladen und lesen kann. Darüber hinaus darf der Artikel wiederverwendet und zitiert werden, sofern die veröffentlichte Originalversion zitiert wird. Diese Bedingungen ermöglichen eine maximale Nutzung und Veröffentlichung der Arbeit und stellen gleichzeitig sicher, dass die Autor:innen eine angemessene Anerkennung erhalten.



Eine Beispiel-Zitierung könnte sein:

Buss, R., Gresch, M., Flury, R., Meier, A.G. und Muff N. (2022) Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Kanalnetzen - die neue VSA Empfehlung. In Disch, Andy & Rieckermann, Jörg (Eds.), "Grün statt grau" Tagungsband der Aqua Urbanica 2022 Konferenz, Glattfelden 14.-15. November 2022, Eawag, Abteilung für Siedlungswasserwirtschaft.

## Titelbild

Bild [«skyscraper-building-complex-1697170»](https://www.pexels.com/photo/skyscraper-building-complex-1697170/) von [Alexa](https://www.pexels.com/user/1234567890/) from [Pixabay](https://www.pexels.com/).

## Strassenräume entsiegeln und blau-grün gestalten

M. Burkhardt<sup>1</sup>, A. Saluz<sup>2,3</sup>, B. Kulli<sup>2</sup>

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

2 ZHAW, Life Sciences und Facility Management, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen,  
 Grüental, 8820 Wädenswil

3 Stadt Zürich, Grün Stadt Zürich, Beatenplatz 2, 8001 Zürich

**Kurzfassung:** Im Strassenraum bestehen hohe Anforderungen an eine standortgerechte Begrünung und den Rückhalt von Wasser für die Pflanzen, aber auch die genügend schnelle Versickerung und Reinigung von Strassenabwasser. Im Rahmen einer umfassenden Recherche wurden der Wissensstand und die offenen Herausforderungen zusammengetragen, verbunden mit konkreten Handlungsempfehlungen für die Planungspraxis.

**Key-Words:** Strassenabwasser, Schadstoffe, Bodenfilter, Pflanzgruben, Substrate, Versickerung

### 1 Hintergrund

Im städtischen Raum nehmen der Strassenverkehr und die versiegelten Verkehrsflächen weiter zu. Nicht nur die oberflächlich abfliessende und versickerbare Menge an Niederschlagsabwasser steigt an, sondern auch die Belastung des Strassenabwassers. Anforderungen an eine multifunktionale Regenwasserbewirtschaftung im verdichteten Siedlungsraum verlangen Lösungen, um beispielsweise Starkniederschläge zu puffern, Trocken- und Salzschäden an Bepflanzungen zu vermeiden, die Aufenthaltsqualität und Biodiversität zu erhöhen, aber auch Stoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer zu vermeiden.

Aufgrund der konkurrierenden Flächenansprüche besteht ein hoher Druck auf Freiflächen, diese sowohl zur Versickerung und Reinigung von Strassenabwasser als auch zur Begrünung zu nutzen und damit die Entwässerung von Verkehrsflächen stärker in eine urbane Regenwasserbewirtschaftung zu integrieren.

Durch die VSA-Richtlinie "Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter", die gesamtschweizerisch anzuwenden ist, sowie kantonale Praxishilfen wird die Versickerung unter Berücksichtigung der Gewässerschutzverordnung ausgelegt. Planer aus Ingenieurbüros, Landschaftsarchitekten und Landschaftsgärtner müssen die Regelwerke bei der Versickerungsplanung beiziehen. Nicht immer ist dies bei Schwammstadt-Projekten zu beobachten.

Der Kanton Zürich verfolgt die blau-grüne Weiterentwicklung des Strassenraums, jedoch entspricht die heutige innerstädtische Strassenentwässerung vielerorts noch nicht diesen Vorstellungen. Zudem sind Anforderungen an den Gewässerschutz bei der Einleitung sowie Versickerung einzuhalten, wobei hierbei auch Wissenslücken zur stofflichen Belastung bestehen.

### 2 Ziele und Vorgehen

Im Auftrag vom Tiefbauamt (TBA) sowie das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürichs wurden der vorhandene Kenntnisstand im relevanten Forschungsbereich aufgearbeitet und für belastetes Strassen- und Platzabwasser Lösungsvarianten beurteilt. Schwerpunkte bildeten die

Entwässerung und Bepflanzung entlang von Platz- und Strassenverkehrsflächen im innerörtlichen Bereich. Im Fokus standen die stoffliche Belastung von Strassenabwasser, Anforderungen des Gewässerschutzes und grundsätzlichen Eignungskriterien von Böden und Substraten für die Versickerung. Die präferenziellen Fließwege sowie Pflanzenkohle, die Klärung hydraulischer und technischer Eigenschaften bezüglich deren Sicker-, Speicher-, Reinigungsleistung und Tragfähigkeit wurden besonders berücksichtigt. Zusätzlich werden Bepflanzungsvarianten als integrale Elemente einer Regenwasserbewirtschaftung im Strassenraum, insbesondere unter Berücksichtigung von Tausalz, entwickelt sowie Anwendungsmöglichkeiten von blau-grünen Gestaltungselementen für Strassenabwasser, wie sie im Kanton Zürich zur Hitzeminderung empfohlen werden, überprüft.

### 3 Ergebnisse

In einem umfassenden Bericht, Fachartikel und einer Planungshilfe wurden die Erkenntnisse und Lücken im Bereich blau-grüner Strassenraumgestaltung zusammengetragen und eine erste Handlungsempfehlung für die Praxis formuliert [Burkhardt et al., 2022a, b, c]. Vorgestellt werden hier vor allem Erkenntnisse zu Baumrigolen mit Pflanzsubstraten.

#### 3.1 Schadstoffe und Gewässerschutz

Die Stoffbelastung ist von zentraler Bedeutung für den möglichen Behandlungsbedarf und die Anforderungen an Boden und Substrate. In Platz- und Strassenabwasser wird sie primär durch das Verkehrsaufkommen bestimmt und in drei Belastungsklassen abgebildet (VSA, 2019a). Effektiv gelangen verschiedenste gelöste und partikuläre Stoffe ins Platz- und Strassenabwasser (Abb. 1).

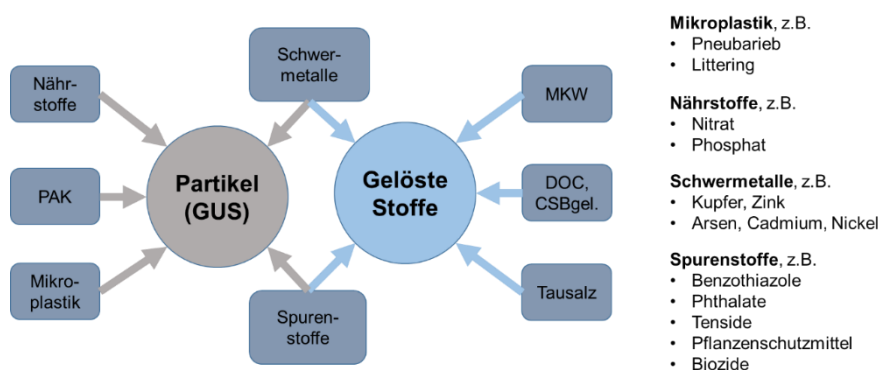


Abbildung 53: Spektrum an Schadstoffen im Strassenabwasser, welche als Partikel, an Partikeln gebunden oder im Wasser gelöst vorliegen können.

Den Partikeln (gesamte ungelöste Stoffe; GUS) kommt eine besondere Bedeutung zu. Die GUS-Fraktion kann Schadstoffe beinhalten und emittieren, wie wasserlösliche Additive im Pneubarieb, oder Schadstoffe adsorbieren, wie Schwermetalle und PAK. GUS wird in der Gewässerschutzverordnung als Schadstoff bewertet, für den Anforderungswerte eingehalten werden müssen.

Pneubarieb, als wesentliche Quelle von Mikroplastik, dominiert die aktuelle Diskussion zur Strassenabwasserbelastung, weil sich der Abrieb auf Schweizer Strassen auf fast 11'000 t pro Jahr beläuft (Sieber et al., 2019). Mit der grossen Menge Pneubarieb gelangen auch Additive in die Umwelt, wie Vulkanisationsbeschleuniger, Antioxidantien, Weichmacher und Stabilisatoren (Björklund et al. 2009, Bensch-Baltrusch et al., 2020). Mercaptobenzothiazol erreicht im Strassenabwasser bis einige Hundert Mikrogramm pro Liter und weist eine Ökotoxizität von 0.8 µg/L (chronisch) auf. Das Antioxidationsmittel 6PPD (N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-Phenyl-P-Phenylenediamin) wird beispielsweise durch Ozon

in 6PPD-Quinon umgewandelt, welches schon bei  $0.8 \pm 0.16 \mu\text{g/L}$  eine letale Wirkung (LC50) auf junge Lachse aufweist und im Strassenabwasser zwischen  $< 0.3$  und  $19 \mu\text{g/L}$  gefunden wurde (Tian et al., 2021). Taumittel werden flüssig (Salzsole) oder als Tausalz eingesetzt. Zu den unerwünschten Folgen zählen Salzsäden am Strassengrün, städtischer Infrastruktur sowie Belastungen von Böden und Gewässern (Zuber, 2007).

Verschmutztes Platz- und Strassenabwasser zählt gemäss Schweizer Gewässerschutzverordnung zu "anderes verschmutztes Abwasser". Es ist entsprechend seiner Belastungsklasse zu behandeln (VSA, 2019). Zulässig ist die Versickerung von Platz- und Strassenabwasser mit Bodenpassage im Gewässerschutzbereich *Au* (für unterirdische Gewässer) und uneingeschränkt im *üB* (*übrige Bereiche*). Fehlt die Bodenpassage, sind Adsorberanlagen mit nachgewiesenen Wirkungsgraden einzusetzen. Ob Pflanzensubstrate die Bodenpassage ersetzen können, ist bis heute ungenügend erforscht.

### 3.2 Rückhaltevermögen von Böden und Substraten für Schadstoffe

Partikuläre Stoffe wie GUS und Pneuabrieb werden durch mechanische Filterung an der Oberfläche und in der Matrix von durchströmten Böden sowie Substraten  $> 90 \%$  zurückgehalten (ASTRA, 2022). Der hohe physikalische Rückhalt durch Oberflächen- und Raumfiltration ist darauf zurückzuführen, dass (1) eine deckschichtkontrollierte Filtration an der Bodenoberfläche wirkt, (2) die Partikel meistens grösser sind als die Porenradien, und (3) eine Durchgängigkeit des Porenraums fehlt (Konnektivität). Diese Mechanismen gelten sowohl für Böden als auch Pflanzsubstrate, wobei der effektive Wirkungsgrad durch die vorliegenden Partikeleigenschaften und die physikalischen Kenngrössen des jeweiligen Materials beeinflusst ist.

Gelöste Stoffe interagieren mit den Oberflächen der Feinfraktion. Vor allem Tonminerale und organisches Material, aber auch Oxide und Hydroxide, stellen die relevanten Oberflächen für eine Adsorption zur Verfügung. Die generelle Fähigkeit der festen Boden- oder Substratmatrix, geladene Stoffe zu binden, wird mit der Kationen- und Anionenaustauschkapazität beschrieben (KAK, AAK). Für Pflanzsubstrate ist die KAK oft nicht bekannt, aber die eingesetzten Komponenten und Mengenanteile deuten darauf hin, dass diese eher gering sein dürfte. Durch Pflanzenkohle könnte eine Erhöhung auftreten, die es nachzuweisen gilt. Organische Spurenstoffe werden ebenfalls eher schlecht von Versickerungsböden zurückgehalten, weil die notwendigen Bindungsplätze fehlen.

Chlorid, als Bestandteil von Taumitteln bzw. Tausalzen, ist ein inerter Stoff und im Boden sehr mobil. Durch einen Spülostoss, ausgelöst durch Starkregen oder eine grosse Anschlussfläche, wird in Pflanzgruben eingetragenes Tausalz ausgewaschen. Tritt genügend Sickerwasser auf, vor allem im Spätwinter, ist deshalb keine dauerhafte Schädigung der Vitalität, wie Salzsäden an Bäumen, zu erwarten.

Pflanzsubstratrezepturen wurden bisher nicht dafür entwickelt, die eingetragene Schadstoffvielfalt zurückzuhalten. Die Filterfunktion für partikuläre Stoffe ist nur ein zufälliges Resultat der Substratmatrix. Gleiches gilt für gelöste Schadstoffe wie Schwermetalle, die gelegentlich über die Sickerpassage entfernt werden.

### 3.3 Substrate für Pflanzen und Schadstoffrückhalt

Pflanzsubstrate kommen meist dort zum Einsatz, wo natürliche Böden fehlen oder benötigten Ansprüche nicht erfüllen (z.B. Sicker- oder Tragfähigkeit) (Abb. 2). Sie müssen je nach Einsatzbestimmung unterschiedliche mechanische, hydraulische, chemische und biologische Grundanforderungen erfüllen. Substrate für Vegetationstragschichten sollen daher optimale Wachstumsbedingungen bezüglich Durchlüftung, Wasserhaltevermögen, Nährstoffangebot und Wurzelraum gewährleisten. Für die Strassenentwässerung steht eine hohe Wasserleitfähigkeit und hohe Reinigungsleistung im Vordergrund.

Zu den Zusatzstoffen zählen organische Substanzen und Pflanzenkohle. Pflanzenkohle kann Wasser dank ihrer grossen inneren Oberfläche bis zum 5-fachen Eigengewicht aufnehmen, wodurch die Nährstoffspeicherung und Wasserhaltekapazität (FK) verbessert werden. Sie sollte vor dem Einsatz mit Nährstoffen und evtl. mit Mikroorganismen angereichert werden.



Abbildung 54: Nicht überbaubare Pflanzsubstrate mit Ziegelschrot und roher Pflanzenkohle (links) und mineralisches Substrat mit kompostierter Pflanzenkohle (rechts; INKoh<sub>soil</sub>). ©Burkhardt, Saluz.

Herausgearbeitet wurde in der vorliegenden Studie, welche hydraulischen und chemischen Parameter die Boden- und Substrateigenschaften gut beschreiben und welche Eigenschaften für die Planung besonders zu empfehlen sind. Dabei stellte sich heraus, dass die zwei verbreiteten FLL-Substratanforderungen (überbaubares und nicht überbaubares Substrat) nicht alle Möglichkeiten ausschöpfen, um einen überbaubaren Standort zu realisieren. Die Stockholm-Substratrezeptur ist für den überbaubaren und nicht überbaubaren Einbau sehr zu empfehlen. Bedingung ist allerdings, dass zertifizierte reine/kompostierte Pflanzenkohle und schadstofffreie Materialien verwendet werden. Diese bietet hohe Tragfähigkeit und Strukturstabilität, sowie hohe Luft- und Wasserleitfähigkeit und Durchwurzelbarkeit.

Adsorbersubstrate sind auf eine hohe hydraulische Durchlässigkeit (hohe Wasserleitfähigkeit) und maximalen Schadstoffrückhalt, auch von Spurenstoffen, ausgerichtet. Diese Fähigkeit bringt auch chemisch aktivierte Pflanzenkohle mit. Ein qualitätskontrolliertes Produkt aus heimischer Pflanzenkohle bietet nur ein Schweizer Hersteller an (INKoh<sub>Clean</sub>). Als Nachweis für den Schadstoffrückhalt bietet sich der VSA-Labortest für Adsorbermaterialien an (VSA, 2019b).

### 3.4 Bauliche Umsetzung im Strassenraum

Versickerungen mit einem Verhältnis der Entwässerungs- zur Versickerungsfläche von  $A_E/A_V < 5$  sind nicht bewilligungspflichtig, weil das Niederschlagsabwasser am Ort des Anfalls versickert (VSA; 2019a). Dazu gehören Rasenflächen, Wiesen, Strassenböschungen, durchlässige Flächenbeläge wie Rasengittersteine, Sicker-/Verbundsteine, Schotterrasen, nicht befestigte Wege, Ruderalflächen und Pflanzgruben mit kleiner Anschlussfläche. Bei einem Verhältnis von  $A_E/A_V \geq 5$  handelt es sich um eine bewilligungspflichtige Anlage, je nach Anlagenfunktion um eine Versickerungs- oder Behandlungsanlage.

Typische Bauweisen von Pflanzgruben (Synonyme: Baumrigole, Baumgrube, Versickerungsbeet etc.) orientieren sich oft an den FLL-Empfehlungen. Sie zeichnen sich durch offene Baumscheiben, tiefe Pflanzgruben mit Substraten, Tiefenbelüftung und überbaufähige Substrate aus (FLL, 2010). Um optimale Standortbedingungen für Bäume in Pflanzgruben bereitzustellen, ist wie folgt zu planen:

- Gesamtvolumen:  $> 24 \text{ m}^3$ , entspricht 2 - 4  $\text{m}^3$  Wasservorrat
- Direkter Wurzelraum (nicht überbaubares Substrat):  $> 3 \text{ m}^3$ , lose einzubauen

- Baumscheibe: > 6 m<sup>2</sup>, offen oder teildurchlässig
- Tiefe: > 1.5 m Grube

Alle Erkenntnisse weisen darauf hin, dass heutige Baumrigolen-Systeme, meistens  $A_E/A_V < 5$ , nicht für den Rückhalt von gelösten Spurenstoffen geeignet sind, weil Bindungsplätze für Schadstoffe, wie sie in natürlichen bindigen Böden vorhanden sind, fehlen. Bei mittleren und hohen Belastungen im Strassenabwasser wird daher davon abgeraten, das Wasser in Pflanzsubstraten zu versickern, solange nicht entsprechende Nachweise zur Rückhalteleistung vorliegen.

Mit einer vorgeschalteten Akkumulationszone bestehend aus Adsorbersubstrat kann der Stoffeintrag in die Baumscheibe und die Verlagerung in den wasserdurchlässigen Substraten dennoch bereits heute vermieden werden. GUS und partikelgebundene Schwermetalle dürften hingegen auch in Standardrezepturen gut entfernt werden.

Die Bepflanzung ist ein wesentlicher Faktor für die ästhetische und ökologische Funktion von Pflanzgruben. Die ausgewählten Vegetationsempfehlungen, gegliedert in Kraut-, Strauch- und Baumschicht, sind universell einsetzbar, sofern sich die Feuchte und die Salzbelastung in einem für die Pflanzen passenden Bereich liegen. Vorzusehen sind standortgerechte Arten (bevorzugt Wildformen) und Diversifikation. Dazu können auch Arten aus anderen Regionen, beispielsweise dem Mittelmeerraum, eingesetzt werden. Der Beitrag zur Biodiversität ist dann besonders gross, wenn möglichst viele verschiedene und auch einheimische Arten gepflanzt werden. Im Kanton Zürich sollten bevorzugt Arten des Biodiversitätsindex 3 und höher gewählt werden. Die entwickelte Typologie berücksichtigt den Feuchtebedarf (trocken, feucht) und die Tausalzverträglichkeit (geringe Salzlast < 100 mg/kg Chlorid; hohe Salzlast  $\geq 100$  mg/kg Chlorid) (Abb. 3):

- $A_E/A_V < 5$ : Trocken, salztolerante Pflanzen bei versiegelten Anschlussfläche
- $A_E/A_V \geq 5$ : Feucht, Salztoleranz nicht relevant, weil Salz ausgewaschen wird.



Abbildung 55: Bepflanzungen im Strassenbereich mit starker Salzlast ( $A_E/A_V \geq 5$ ). ©Saluz.

#### 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein hoher Anteil von versickerungsfähigen, begrünten Flächen im urbanen Raum wirkt gegen Oberflächenabfluss, kühlt durch Evapotranspiration, erhöht die Aufenthaltsqualität für die Bevölkerung und

fördert die Biodiversität. Dabei sind die Massnahmen wirtschaftlich, wenn sie „Huckepack“ mit anstehenden Strassenerneuerungen und Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden.

Substrate bieten optimale Standortbedingungen im urbanen Raum für Bäume, Stauden etc., wenn die Grundanforderungen an den Wasserhaushalt (Wasser halten, ableiten) und allenfalls die Tragfähigkeit, erfüllt sind. Bei der richtigen Zusammensetzung sind sie universell einsetzbar. Substrate müssen nicht standortspezifisch entwickelt werden. Das Ausgangssubstrat verändert sich aber über die Zeit unter dem Einfluss der Standortbedingungen. Ausschreibungen sollten für die Substratauswahl und Pflanzgrubenbauweisen wenige einfache, klar kontrollierbare Parameter vorsehen wie Lagerungsdichte spezifische Sickerleistung.

Durch Tausalz und den durch Pflanzenkohlen verursachten leicht alkalischen pH-Wert werden keine wesentlichen Schäden an der Vegetation oder beim Bodengefüge unter den Witterungsbedingungen der Schweiz (hohe Regenintensitäten), insbesondere bei grossen Anschlussflächen, erwartet. Dennoch sind bei der Auswahl der Pflanzenarten die Feuchtigkeit und das Streusalz als limitierende Faktoren beizuziehen.

Solange nicht zusätzliche Erkenntnisse zum Stoffrückhalt vorliegen, wird dem Vorsorgeprinzip folgend empfohlen, neben Massnahmen zur Verringerung der Belastung (z.B. weniger Tausalz, Langsamverkehr), FLL-Substrate nur für gering belastetes Strassenwasser einzusetzen (< 5000 DTV). Bei mittlerer und hoher Belastung müssen klassische Baumrögen mit einem Barrieren-Konzept gekoppelt werden.

Bei der heutigen Planung von Pflanzgruben an Plätzen und Strassen wurde bisher selten die mögliche Belastung berücksichtigt. Auch ist festzuhalten, dass keine Daten zur effektiven stofflichen Belastung durch organische Spurenstoffe im Strassenabwasser vorliegen. Der Fokus lag bisher auf GUS, Kupfer und Zink. Diese Kenntnislücke sollte behoben werden, um die grundsätzlichen Risiken für das Grundwasser zu kennen und Massnahmen zielgerichtet zu treffen. Die Schadstoffe sind aber nicht für die Vegetation relevant.

Die Wissenslücken sollten nicht verhindern, mit der blau-grünen Umgestaltung des Strassenraums rasch vorwärts zu gehen. Aufgrund des Klimawandels und der Dringlichkeit zu handeln, müssen gleichzeitig schnellstmöglich Kenntnisse über die mögliche Schadstoffbeeinträchtigung des Grundwassers beschafft werden.

## 5 Danksagung

Das Projekt wurde im Auftrag vom Tiefbauamt des Kantons Zürich und vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich durchgeführt. Für die gute Unterstützung und Projektbegleitung danken wir Christoph Abegg, Sarah Marthaler, Stefan Schmid und Natascha Torres.

## 6 Literatur

ASTRA (2021): Strassenabwasserbehandlungsverfahren – Stand-der-Technik. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern.

Burkhardt, M., Saluz, A., Kulli, B. (2022a): Neue Herausforderungen bei der Strassenentwässerung: Recherche zum Stand des Wissens. Technischer Bericht, TBA und AWEL, Kanton Zürich.

Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Stock, F., Reifferscheid, G. (2020): Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment. Science of the Total Environment 733, 137823.



- Björklund, K., Cousins, A.P., Strömvall, A.-M., Malmqvist, P.-A. (2009): Phthalates and nonylphenols in urban runoff: Occurrence, distribution and area emission factors. *Sci. Total Environ.*, 407(16), 4665-4672.
- Burkhardt, M., Kulli, B., Saluz, A. (2022b): Schwammstadt im Strassenraum – Neue Herausforderungen für blau-grüne Infrastrukturen bei der Strassenentwässerung, *Aqua und Gas*, 10,
- Burkhardt, M., Kulli, B., Saluz, A. (2022c): Schwammstadt im Strassenraum: Planungshilfe zum Umgang mit Platz und Strassenabwasser bei geringer Belastung. OST & ZHAW, Rapperswil & Wädenswil.
- FLL (2010): Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2: Standortvorbereitung für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), Bonn.
- Sieber, R., Kawecki, D., Nowack, B. (2019): Dynamic probabilistic material flow analysis of rubber release from tires into the environment. *Environmental Pollution*, 113573.
- Tian, Z. et al (2020): A ubiquitous tire rubber-derived chemical induces acute mortality in coho salmon. *Science* 371, 185-189.
- VSA (2019a): Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Glattbrugg, Schweiz.
- VSA (2019b): Merkblatt - VSA Leistungsprüfung für Behandlungsanlagen. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Glattbrugg, Schweiz.
- Zuber, R. (2007): Streusalz: Auswirkungen auf die Stadtbäume und Gegenmassnahmen - Literaturstudie. Stadt Chur Gartenbauamt.

### **Korrespondenz:**

Michael Burkhardt, Prof. Dr.  
OST – Ostschweizer Fachhochschule  
Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC)  
E-Mail: [michael.burkhardt@ost.ch](mailto:michael.burkhardt@ost.ch)