

Regenwasserretention für die Schwammstadt - Pilotanlage im Kanton Schwyz

Natalia Duque¹, Elia Ceppi¹, Peter M. Bach^{1,2}, Michael Burkhardt¹

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

² EdenCT, Dübendorf 8600, Schweiz

Kurzfassung: Städtische Räume sind immer häufiger von Starkregenereignissen und längeren Trockenperioden betroffen. Das Schwammstadt-Konzept bietet hierfür einen nachhaltigen Ansatz. Diese Studie bewertet die hydraulischen Eigenschaften von Steinwolle als Schwammstadtelement. Eine Pilot-Rigole an der Kläranlage Schwyz wurde über 16 Monate betrieben und kontinuierlich überwacht. Die Anlage, mit Stauden bepflanzt, bestand aus einem Baumsubstrat, einer Steinwollschicht und einem Ablauf. Die Ergebnisse zeigen, dass Steinwolle Abflussspitzen deutlich reduziert (Median 36 %) und während Starkregen substanzielle Wassermengen puffert. In Trockenphasen wirkt sie als Wasserspeicher. Dadurch steht den Wurzeln pflanzenverfügbares Wasser zur Verfügung. Das Pflanzenwachstum wird derart verbessert, dass Steinwolle ein ergänzender Baustein an Standorten mit geringer Wasserhaltekapazität oder undurchlässigem Boden ist. Die Untersuchung unterstreicht das Potenzial von Steinwolle als modulares Schwammstadtelement für die urbane Klimaanpassung.

Key-Words: Schwammstadt, Steinwolle, Urbane Wasserbewirtschaftung, Wasserrückhalt, Evapotranspiration, Spitzenabfluss, Sättigungsdynamik

1 Einleitung

Weltweit sind Städte zunehmend meteorologischen Extremen ausgesetzt, darunter Starkniederschläge und längere Dürreperioden, die sich unter den Klimaszenarien weiter verschärfen werden (BAFU/ARE, 2022). Konventionelle Entwässerungssysteme sind oft nicht in der Lage, diese Dynamik abzufangen, was zu Überflutungen, Mischwasserüberläufen und Wasserknappheit für die Vegetation führt. Das Konzept der Schwammstadt hat sich daher als zentrale Strategie zur Stärkung der Klimaresilienz etabliert. Sein Grundprinzip besteht darin, natürliche Wasserkreisläufe nachzuahmen, indem grüne und blaue Infrastrukturen integriert werden, die Regenwasser zurückhalten, versickern und verdunsten (Burkhardt et al., 2022a; Burkhardt et al., 2022b; Bach et al., 2021). Neben hydrologischen Effekten bieten blau-grüne Infrastrukturen weitere Ökosystemleistungen an, etwa Hitzeminderung,

Förderung der Biodiversität und die Bereitstellung von Wasserressourcen (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Steinwolle ist ein aus vulkanischem Gestein hergestelltes Faserprodukt mit hoher Porosität (ca. 95 %), einer geringen Dichte und hohen mechanischen Stabilität (De Rijck & Schrevens, 1998). In der Hydroponik ist Steinwolle seit Jahrzehnten etabliert, da sie durch ihre Kapillarität sowohl die Durchlüftung als auch die kontinuierliche Wasserverfügbarkeit für Pflanzen gewährleistet (Jørgensen, 1975; Bjerggaard, 1977). Ihr Einsatz in der urbanen Regenwasserbewirtschaftung ist jedoch kaum erforscht.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, die hydraulischen Eigenschaften von Steinwolle als Schwammstadtelement zu untersuchen. Im Fokus stehen dabei die Prozesse während Regenereignissen sowie Trockenperioden.

2 Materialien und Methoden

2.1 Pilot-Rigole

Eine Pilot-Rigole wurde an der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Schwyz in Seewen, Schweiz, errichtet, um die hydraulische Leistungsfähigkeit von Steinwolle unter Feldbedingungen zu untersuchen. Die Rigole umfasst einen mit Stauden bepflanzten Glasbehälter ($1.2 \times 1.2 \times 0.8$ m H) mit folgendem Schichtaufbau (Abbildung 1):

- Obere Schicht: 0.20 m, Zürich Substrat A2 mit 30 % Porosität und 33 % Wasserhaltekapazität.
- Mittlere Schicht: 0.45 m, Steinwolle-Module der Firma Flumroc AG mit ca. 95 % Porosität und 10 % Wasserhaltekapazität.
- Untere Schicht: 0.05 m Kies zur Drainage.

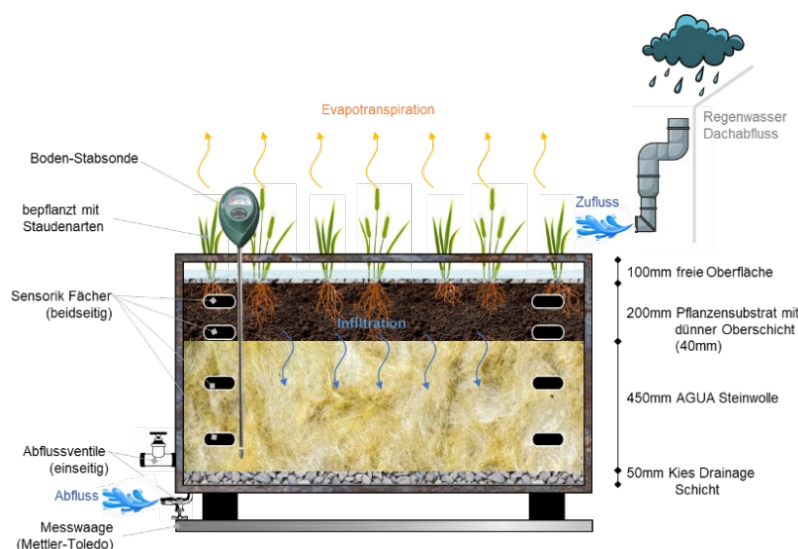


Abbildung 1: Schematischer Querschnitt der Pilot-Rigole mit Substrat-, Steinwolle- und Dränageschicht.

Das System wurde mit einer Reihe von Sensoren und Messgeräten ausgestattet, um Wasserpeicher, Abflüsse und Massenbilanz mit hoher zeitlicher Auflösung (Minutentakt) zu erfassen (Abbildung 2). Die Kombination aus kontinuierlichen Messungen von Zu-, Abfluss-, Bodenfeuchte und Gewicht liefert einen einzigartigen Datensatz.

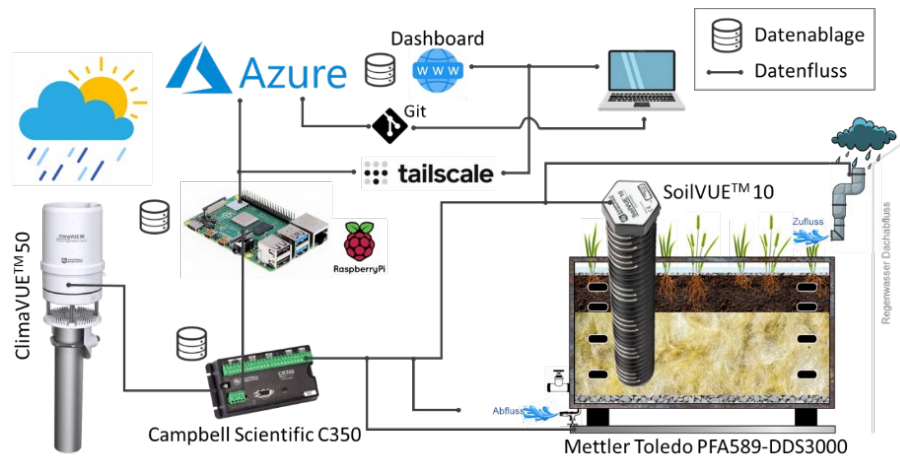


Abbildung 2: Instrumentierung, Datenflüsse und Cloud-Dashboard-Anbindung.

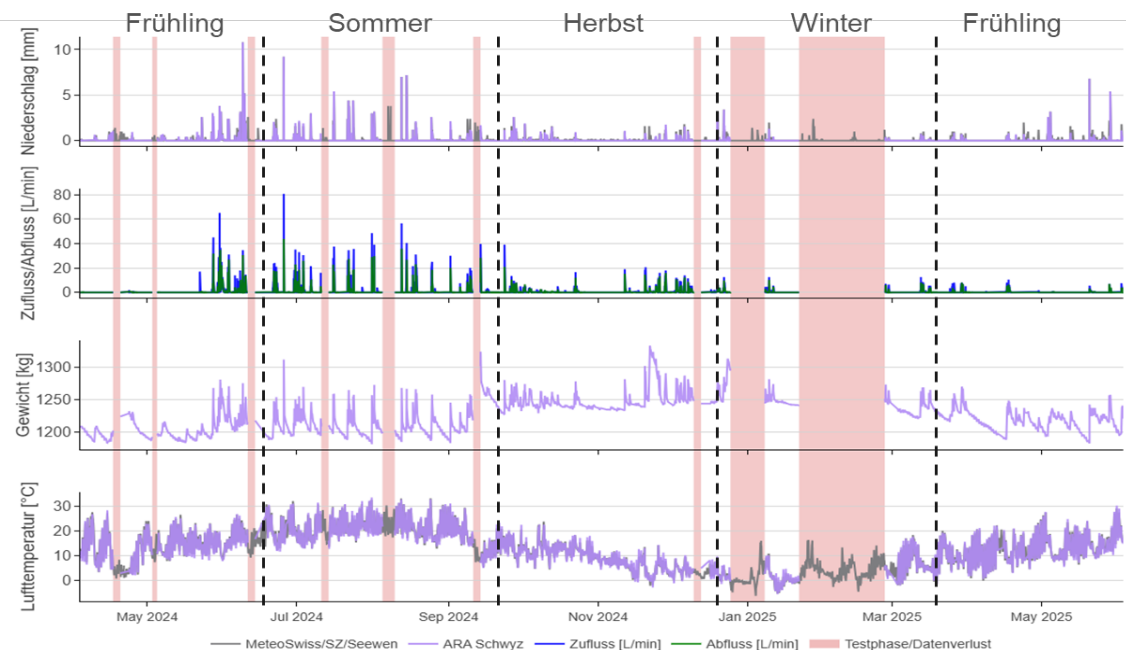


Abbildung 3: Dashboard-Visualisierung im Live-Modus über den Zeitraum April 2024 bis Juni 2025. Dargestellt sind (von oben nach unten) a) Niederschlag [mm], b) Zufluss und Abfluss [L/min], c) Gewicht des Rigolensystems [kg] sowie d) Lufttemperatur [°C]. Die saisonale Einteilung (Frühling, Sommer, Herbst, Winter, Frühling) ist durch gestrichelte Linien gekennzeichnet. Rot markierte Zeiträume zeigen Testphasen bzw. Datenverluste.

Die Messkampagne wurde von April 2024 bis Juni 2025 durchgeführt und deckte ein vollständiges hydrologisches Jahr sowie einen zweiten Sommer ab. Die Rigole wurde auch gezielt gesättigt und, anschliessend, kontrolliert entwässert sowie der Verdunstung ausgesetzt.

3 Ergebnisse

3.1 Hydraulische Leistung

Im Beobachtungszeitraum wurden insgesamt 72 Regenereignisse mit Dachanschluss erfasst und analysiert. Diese Ereignisse umfassten eine breite Spanne an Intensitäten (5–47 mm/h) und unterschiedlichen Vorbefeuchtungszuständen (Abbildung 4).

Die Pilot-Rigole reduzierte sowohl die Spitzenabfluss als auch die Abflussvolumen, wobei die Leistung vom Speicherzustand vor den Ereignissen abhing. Über alle Ereignisse lag die mediane Reduktion des Spitzenabflusses bei 36 % (11–83 %), während die mediane Reduktion des Abflussvolumens 14 % (2–33 %) betrug. Diese Werte sind vergleichbar oder sogar besser als bei anderen unterirdischen Elementen wie Rigolenblöcken oder Speicherkörpern. Die Pilot-Rigole zeigt, dass Steinwolle als effektiver hydraulischer Puffer in urbanen Regenwassersystemen eingesetzt werden kann.

Eine Korrelationsanalyse zeigt, dass das Nettogewicht des Systems vor jedem Ereignis (als Proxy für die Vorbefeuchtung) eine leichte negative Korrelation sowohl mit der Reduktion des Spitzenabflusses als auch mit dem Abflussvolumen aufweist. Je stärker die Rigole bereits gesättigt (schwerer) war, desto weniger können Spitzen abgefangen und Abflussmengen verzögert werden (Abbildung 4). Dies verdeutlicht die sättigungsabhängige Leistungsfähigkeit der Steinwolle. Ist der Porenraum gefüllt, sinkt die Rückhaltekapazität für neue Niederschläge. Dies verdeutlicht die Bedeutung von Trockenphasen zwischen den Ereignissen, um eine hohe Leistung aufrechtzuerhalten.

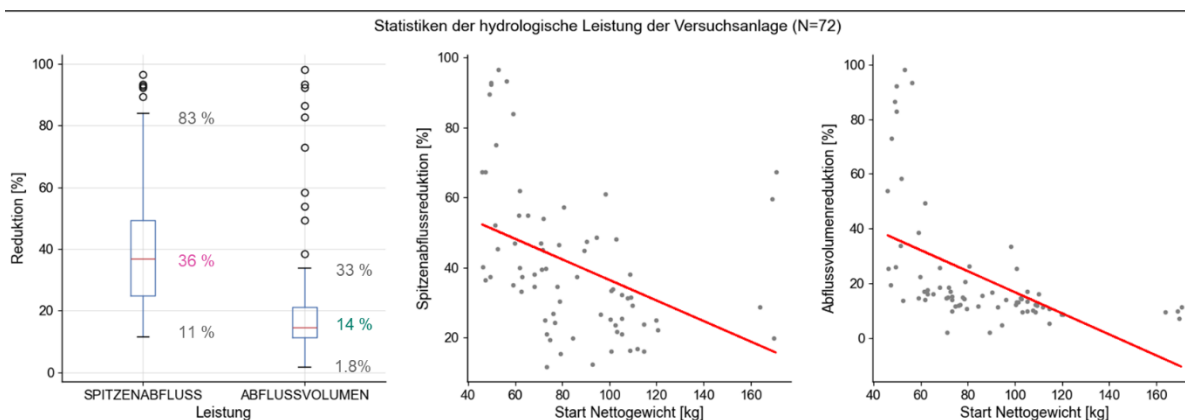


Abbildung 4: Streudiagramm Systemgewicht vs. Reduktion von Spitzenabfluss und Abflussvolumen.

3.2 Wasserrückhalt der Rigole

Der Wasserrückhalt unterscheidet sich deutlich zwischen Substrat- und Steinwolle. Die Substratschicht (10–30 cm Tiefe) hielt im Durchschnitt 42 L/m³ zurück (max. 60 L/m³), was nahezu der Wassershaltekapazität entspricht. Die Steinwolle (30–75 cm Tiefe) hielt durchschnittlich 275 L/m³ zurück (max. rund 310 L/m³). Dieser Wert liegt bei 64 % der theoretischen Kapazität von 428 L/m³. Die Steinwolle stellt daher eine konstante Tiefenspeicherfunktion bereit, während das Substrat deutlich schneller seine Kapazität ausschöpft. Die Ergebnisse bestätigen, dass das Substrat seine Retentionsgrenze bei Starkregen rasch erreicht, während die Steinwolle den Grossteil der Wasserspeicherkapazität des Systems bereitstellt. Die Differenz zwischen theoretischem und beobachtetem Maximalwert weist darauf hin, dass nicht der gesamte Porenraum der Steinwolle gefüllt wurde.

3.3 Sättigungsdynamik der Rigole

Die Sättigung liefert eine wichtige Grundlage für die hydraulischen Kapazität. Im Frühling traten die grössten Schwankungen sowohl im Substrat als auch in der Steinwolle auf. Dies lässt sich durch wechselhafte Niederschlagsmuster und die beginnende Aktivität der Vegetation erklären. Der Sättigungsgrad der Steinwolle variierte dabei deutlich: Er lag im Minimum bei etwa 42 % im Frühling und erreichte im Maximum 73 % im Sommer. Die Substratschicht zeigte kürzere, aber deutlichere Schwankungen: während Starkregenereignissen näherte sie sich der Sättigung an, trocknete jedoch innerhalb weniger Tage wieder stark ab. Die Steinwolle hingegen wirkte als stabiler Tiefenspeicher, bei dem die Feuchtigkeit langsamer zunahm und auch über längere Trockenperioden hinweg relativ stabil blieb. Die Ergebnisse zeigen, dass die Steinwolle nicht permanent gefüllt ist, sondern in einem dynamischen Gleichgewicht arbeitet.

3.4 Evapotranspiration

Die Evapotranspiration (ET) wurde anhand der Gewichtsdaten der Rigole berechnet. Im Durchschnitt lag die ET bei 0.7 mm/d, wobei in Einzelfällen nach Entwässerung Spitzenwerte von bis zu 7 mm/d erreicht wurden. Obwohl diese Werte im Vergleich zu natürlichen Böden eher moderat ausfallen, zeigen sie, dass die Kombination aus Substrat und Vegetation relevante ET-Flüsse ermöglicht. Die Messungen aus dem Beregnungstest unterstreichen zudem ein zweiphasiges Verhalten: Eine erste, schnelle Entwässerungsphase und eine anschliessende langsamere, die über viele Stunden verlief. Durch die Gewichtsdivergenz in der anschliessenden Trockenperioden wurde die ET direkt quantifiziert.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Rigole nach Niederschlagsereignissen zunächst eine schnelle Entleerung der freien Porenräume durch Schwerkraft zeigt, gefolgt von einer langsamen Restentwässerung. Erst danach dominiert ET als Hauptmechanismus des Wasserverlustes, wobei die Intensität saisonal und meteorologisch bedingt stark schwankt.

3.5 Saisonalität

Die Leistungsfähigkeit variierte deutlich zwischen den Jahreszeiten (Abbildung 5):

- Im Frühling und Herbst war die Retention am höchsten, da Porenraum verfügbar war und die Niederschläge moderater ausfielen.
- Im Sommer erreichte die ET ihre Spitzenwerte, während die Retentionseffizienz bei aufeinanderfolgenden Ereignissen abnahm.
- Im Winter führten Frost-Tau-Zyklen zu Messunsicherheiten, beeinträchtigten aber nicht die strukturelle Integrität der Steinwolle – ein entscheidender Befund für Anwendungen in kalten Klimazonen.

Insgesamt agierte die Steinwolle als saisonal stabiler hydraulischer Puffer, dessen Effektivität jedoch am stärksten im Frühling und Herbst war, wenn Trockenphasen zwischen den Regenereignissen genügend Porenraum für eine erneute Aufnahme schufen.

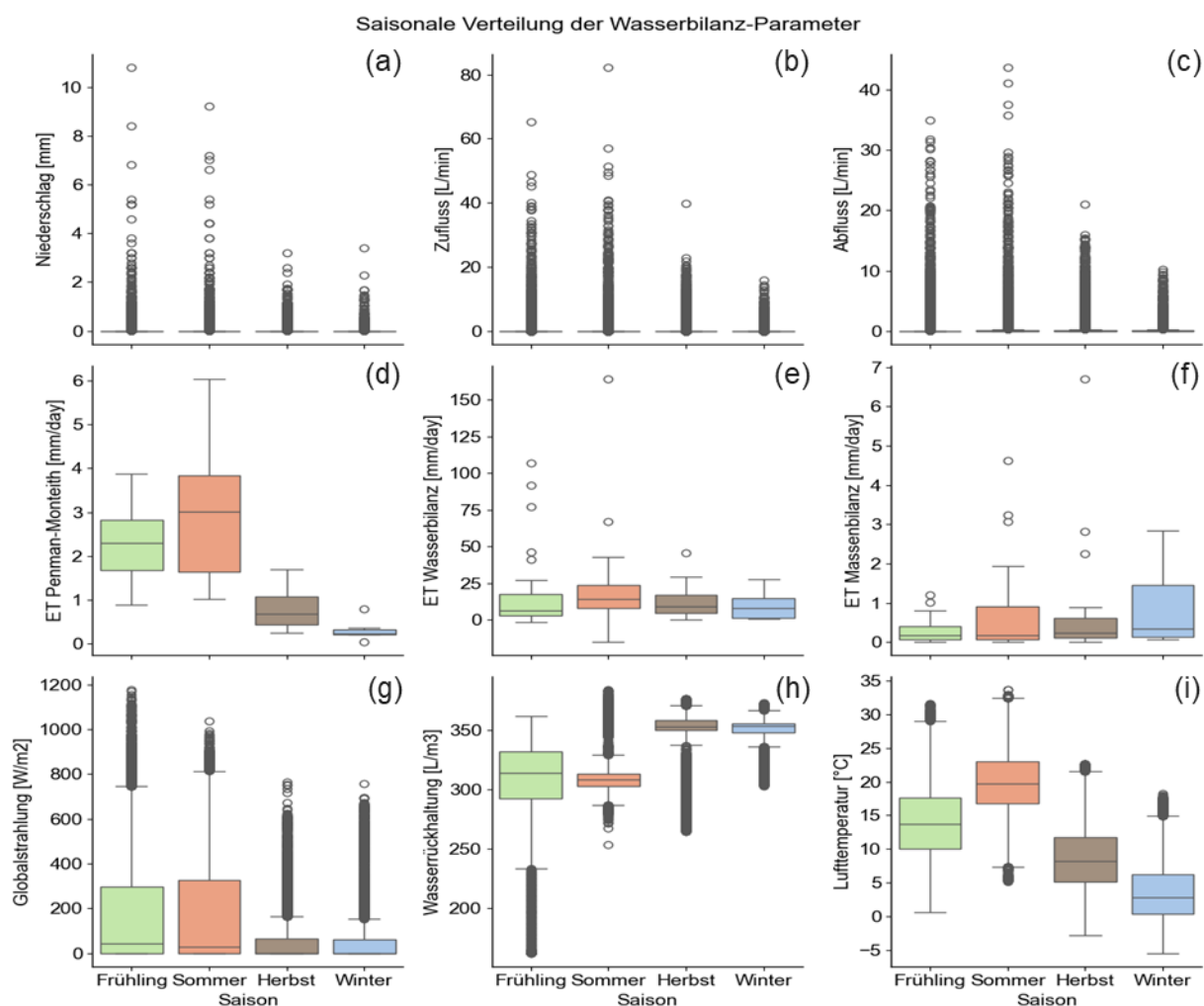


Abbildung 5: Saisonale Variabilität der hydraulischen Leistung des Rigolensystems mit Steinwolle für das Regenwassermanagement. Dargestellt sind a) Niederschlag, b) Zufluss, c) Abfluss, d) Evapotranspiration (ET) nach

Penman-Monteith und e) ET nach Wasserbilanz, f) ET nach Massenbilanz, g) Globalstrahlung, h) Wasserrückhaltung und i) Lufttemperatur über Frühling, Sommer, Herbst und Winter.

4 Schlussfolgerungen

Diese Studie lieferte erste feldbasierten Bewertungen von Steinwolle als Schwammstadtelement. Zentrale Schlussfolgerungen sind:

- Verlässliche Reduktion von Abflussspitzen und Pufferung von unterschiedlichen Regenereignissen.
- Signifikanter Wasserverlust aus der Steinwolle durch Evapotranspiration ist möglich. Wie lange das Wasser ausreicht, ist auch von der Bepflanzung und Standortbedingungen beeinflusst.
- Die Systemleistung ist sättigungsabhängig: Trockene Vorbedingungen führen zu höherer Reduktion von Abflussspitzen und Abflussvolumen.
- Hohe Porosität und strukturelle Stabilität ermöglichen kompakte, modulare tragfähige Speicher. Das Material ist kreislauffähig.

Indem Steinwolle die Lücke zwischen schneller Retention und langfristiger Pufferung schliesst, trägt sie zu den Zielen der Schwammstadt bei: Reduktion urbaner Überflutungen, Unterstützung von ET-basierten Kühlungseffekten und Stärkung der Klimaresilienz.

5 Danksagung

Dieses Projekt wurde vom Amt für Gewässer des Kantons Schwyz – Abteilung Gewässerschutz, der Flumroc AG, dem Abwasserverband Schwyz sowie der ARA Schwyz unterstützt und finanziert. Wir danken insbesondere Philip Baruffa, Urs Peter Vonarburg und Miriam Ortheil (KtSZ AfG), Christoph Egli (Flumroc AG) sowie Jean-Claude Balmer und Alexander Föhn (Abwasserverband Schwyz, ARA Schwyz) für ihre fachliche und logistische Begleitung. Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeitenden Michael Patrick, Mirko Rohr, Gianluca Schmoll und Michael Schmid, für ihre wertvollen Beiträge beim Aufbau und während der Messkampagne.

6 Literatur

BAFU/ARE. (2022). *Regenwasser im Siedlungsraum - Starkniederschlag und Regenwasserbewirtschaftung in der klimaangepassten Siedlungsentwicklung* (Umwelt-Wissen, Issue).
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/regenwasser-im-siedlungsraum.html>

- Bach, P. M., Probst, N., & Maurer, M. (2021). Urbane Strategien zur Hitzeminderung. Wie wirksam sind blau-grüne Infrastrukturen? *Aqua & Gas*, 101(10), 20-25.
- Bjerggaard, A. (1977). Commercial carnation growing on rock wool mats in Denmark. Symposium on Carnations 71,
- Burkhardt, M., Kulli, B., & Saluz, A. (2022a). Planungshilfe Schwammstadt im Strassenraum: Umgang mit Platz-und Strassenabwasser bei der Anwendung von Pflanzsubstraten.
- Burkhardt, M., Kulli, B., & Saluz, A. G. (2022b). Schwammstadt im Strassenraum: Herausforderungen und Lösungen für blau-grüne Massnahmen. *Aqua & Gas*, 2022(10), 16-29.
- De Rijck, G., & Schrevens, E. (1998). Distribution of nutrients and water in rockwool slabs. *Scientia Horticulturae*, 72(3), 277-285.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00144-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00144-1)
- Jørgensen, E. (1975). "GRODAN" STONE WOOL AS MEDIUM FOR PROPAGATION AND CULTURE. Symposium on Propagation in Arboriculture 54,
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being*. Island press United States of America.

Korrespondenz an:

Michael Burkhardt, Prof. Dr.
OST - Ostschweizer Fachhochschule, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC), Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, Schweiz
E-Mail: michael.burkhardt@ost.ch