

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

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/alexas/) from [Pixabay](https://www.pexels.com/).

Retentions Gründächer als multifunktionale blau-grüne Infrastrukturen – Ergebnisse eines Langzeit-Monitorings in Hamburg

M. Richter¹, W. Dickhaut¹

¹ Hafencity Universität, Henning-Voscherau-Platz 1, 20457 Hamburg, Deutschland

Kurzfassung: Im Rahmen eines RISA Pilotprojekts wurden zur Abkopplung eines unterschiedliche Retentions Gründächer gebaut und im langjährigen Praxistest untersucht. Es wurden 64 – 79 % der Niederschläge auf den Dächern zurückgehalten und verdunstet. Für einzelne (Stark-)Regenereignisse wurden hohe Retentionsvermögen und Abflussdrosselung nachgewiesen. Wenn das Regenwasser dauerhaft auf dem Dach gespeichert wird, kann die Artenzusammensetzung langfristig verändert, die Verdunstungsleistung und somit die kühlende Wirkung auf die Umgebung erhöht und auch in Trockenperioden aufrechterhalten werden.

Key-Words: Blau-grüne Infrastruktur; Dachbegrünung; Einstaudach; Retentionsdachbegrünung; Schwammstadt;

1 Einführung

1.1 Retentions Gründächer

Retentions Gründächer bzw. Einstaudächer oder blue-green roofs wurden in den letzten Jahren zur zusätzlichen Erhöhung des Rückhalts und der Verzögerung des Regenwasserabflusses von Dachbegrünungen und zur Erhöhung der Verdunstungsleistung entwickelt. Die aktualisierte Auflage der FLL Dachbegrünungsrichtlinie (FLL 2018) geht auch auf diese technische Weiterentwicklung zur Erhöhung der Retentionsleistung von Dachbegrünungen ein: „Bei [...] Retentionsdächern wird das Wasser im Begrünaufbau, ggf. auch in einer zusätzlichen Schicht eingestaut und temporär gespeichert. Der Abfluss erfolgt unter definierten Bedingungen im Volumen gedrosselt und/oder mit zeitlicher Verzögerung“. Eine dementsprechende schematische Zeichnung der einzelnen Schichten ist in Abbildung 29 dargestellt. In weiteren Veröffentlichungen werden blue-green roofs im Gegensatz zu konventionellen Dachbegrünungen beschrieben als Dachbegrünung mit einer zusätzlichen Schicht, in der mehr Wasser gespeichert wird als die (extensive) Vegetation benötigt (Shafique et al., 2016) und als Dachbegrünungen, die explizit als Teil eines Regenwassermanagement-Systems gebaut werden (Andenaes et al., 2018). Letztere Definition würde wohl auch konventionelle Dachbegrünungen einbeziehen, da diese in der Praxis oft Teil der Entwässerungsplanung sind.

Als nützliche Unterscheidung im technischen Sinne erscheint die Zielsetzung, Regenwasser unterhalb der Substratschicht einzustauen bzw. durch einen gedrosselten Abfluss Regenwasser temporär oder langfristig zurückzuhalten, sinnvoll (Abbildung 29). Durch die Ausbildung der Retentionsdächer als gefällelose Dächer werden Abflussbeiwerte für einzelne Regenereignisse verringert (Förster et al., 2021). Durch den zusätzlichen Regenwasserspeicher wird langfristig weniger Wasser abgeleitet, wobei z. T. über 90 % des Regens auf den Dächern verbleiben können (Busker et al., 2022). Je nach Ausgestaltung der Drosselrichtungen können auch bei außergewöhnlichen und extremen Starkregenereignissen Abflussbeiwerte von nahe 0 erreicht werden (Busker et al., 2022; Cristiano et al., 2022). Über Abflussdrosseln lässt sich zusätzlich steuern, wie lange das Regenwasser auf dem Dach gespeichert wird bzw. wie lange es dauert bis das Retentionsdach wieder sein volles Rückhaltepotenzial erreicht hat.

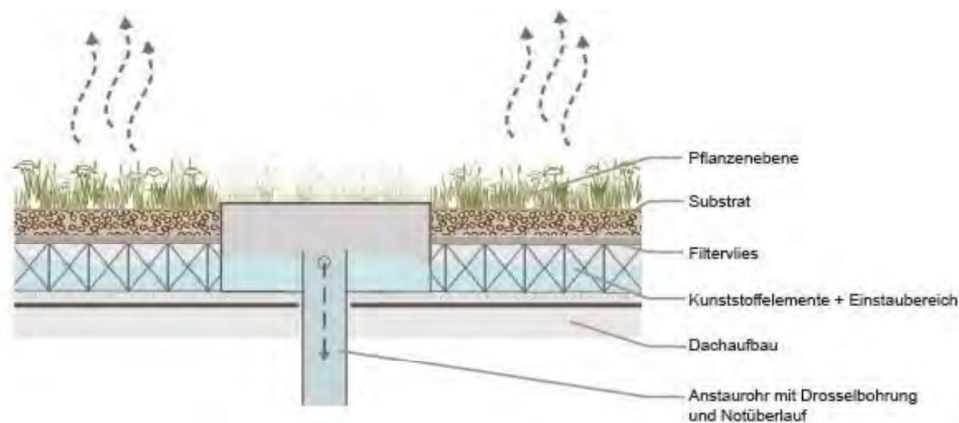


Abbildung 29: Schematische Zeichnung Retentions Gründach.

Durch das vorhandene Wasserdargebot wird die Verdunstungsleistung gegenüber konventionellen Dachbegrünungen erhöht bzw. auch in Trockenzeiten aufrechterhalten (Cirkel et al., 2018; Goessner et al., 2021). Extensivbegrünungen können normalerweise etwa 0,5 – 3,5 mm pro Tag verdunsten (Ebrahimian et al., 2019), bei zusätzlicher (externer) Bewässerung oder Einstau kann die Leistung bis etwa 5 mm pro Tag erhöht werden (Goessner et al., 2021; Kaiser et al., 2019). Wenn das Regenwasser durch mit Regenvorhersagen gekoppelten „smarten Drosseln“, nur unmittelbar vor möglichen Starkregenereignissen abgelassen wird, kann der Regenwasserrückhalt optimiert und die Verdunstungsleistung der Retentionsdächer auch in Trockenperioden noch länger aufrechterhalten werden (Cirkel et al., 2018). Inwieweit sich das vergrößerte Wasserdargebot auf die Vegetationsentwicklung auswirkt scheint bisher nicht abschließend geklärt.

1.2 RISA Pilotprojekt Am Weißenberge

Das RISA-Pilotprojekt Am Weißenberge wurde in Zusammenarbeit mit der Siedlungs-Aktiengesellschaft Hamburg und Gesellschaft für Wohnen und Bauen mbH (SAGA GWG), der damaligen Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) Hamburg, der Zinco GmbH, der Optigrün international AG und Hamburg Wasser im Rahmen der Erschließung eines Wohngebietes entwickelt. Die Wasserwirtschaftliche Problematik im Baugebiet war charakterisiert durch stark ausgelastete Mischwassersiele in den umliegenden Straßen, wodurch unterschiedliche Systeme zur dezentralen Entwässerung nötig wurden, um die weitgehende Abkopplung aller bebauten Flächen zu gewährleisten. Neben verschiedenen etablierten dezentralen siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen wie extensive Dachbegrünungen, begrünte Rückhalte- und Versickerungsmulden, offene befestigte Rinnen, Rigolen und Rückhaltebecken wurden unterschiedliche Retentions Gründachtypen realisiert. Ziel war es, diese in einem langjährigen Praxistest zu untersuchen und deren Potenzial zur Starkregenvorsorge und der Annäherung bebauter Gebiete an einen naturnahen Wasserhaushalt zu untersuchen.

2 Dachbegrünungssysteme und wissenschaftliche Untersuchungen

Auf zwei Gebäuden wurden insgesamt 4 Teilflächen (jeweils 220 m², davon ca. 5 % unbegrünt) und auf einem weiteren Gebäude zwei weitere Teilflächen (jeweils 135 m², ca. 8 % unbegrünt) mit unterschiedlichen Dachtypen ausgestattet. Auf den vier größeren Flächen wurden unterschiedliche Typen von Retentionsdächern gebaut und auf den kleineren Flächen ein Extensivgründach sowie ein unbegrüntes Kiesdach zur Vergleichsmessung (Abbildung 30). Ein Gebäude ist mit zwei verschiedenen Typen Zinco-Retentionsgründächern ausgestattet, mit Speicherelementen von 40 (Z40) bzw. 100 mm (Z100) Höhe, und einer Ablaufdrossel, die auf Höhe der Dachabdichtung angebracht ist. Daraus resultiert ein gedrosselter Abfluss, aber kein langfristiger Einstau.

Tabelle 4: Charakteristik der Dachbegrünungssysteme.

Bezeichnung	M60	WRB85	Z40	Z100	Spardach
Dachtyp	Retentionsdach	Retentionsdach	Retentionsdach	Retentionsdach	Extensivdach
Substrathöhe [cm]	7	7	9	6	6
Höhe Speicherelement [cm]	6	8,5	4	10	2 (Drainage)
Langfristiger Einstau [cm]	4	4	-	-	-

Auf dem einem weiteren Dach wurden zwei verschiedene Typen Optigrün Retentionsgründächer (WRB85 und M60) mit einer statischen Drossel realisiert, d.h. es wurde ein langfristiger Anstau von ca. 4 cm generiert. Die Dächer dieser beiden Gebäude wurden als 0°-Dächer ausgeführt, um die Funktionsweise als Retentionsdächer zu gewährleisten. Auf dem dritten Gebäude wurde ein Kiesdach und ein Extensivgründach (Optigrün Systemösung Spardach) zu Vergleichszwecken installiert. Die Typen sind in Tabelle 4 genauer beschrieben. Die hydrologische Messtechnik wurde 2016 eingebaut. Abflussmessungen der Retentionsdächer erfolgen über in Messboxen verbaute 1 l Kippzähler. Die Messboxen, welche die Abflüsse vom Extensiv- und Kiesdach messen, nehmen Durchflussdaten über ein duales System mit Thompson-Wehr und 200 ml Kippzähler auf. Über einen Regenschirm (nach Hellmann) mit integriertem Kippzähler werden minütlich Regenmengen aufgezeichnet.



Abbildung 30: Luftbilder der Gebäude mit Gründachaufbauvarianten (Eigene Abbildung, © Luftbild: Geoportal des LGV Hamburg, © Aufbauvarianten: Optigrün international AG & Zinco GmbH).

Untersuchungen von Käferarten mittels Becherfallen und Vegetationskartierungen wurden ab 2020 bzw. im Jahr 2022 durchgeführt, um Effekte der erhöhten Wasserverfügbarkeit auf die Pflanzen- und Käferartenzusammensetzung zu untersuchen.

In einer Kosten-Nutzen-Analyse wurden die Kosten der Gründachaufbauten innerhalb einer Lebensdauer von 40 Jahren verglichen (Herstellungs- und Instandhaltungskosten). Dabei wurde auch ein Vergleich der Kosten von anderen Lösungsoptionen der Regenwasserbewirtschaftung angestrebt (z.B. „Standard-Gründach“, ohne Gründach, Dimensionierung Mulden-/Rigolensysteme).

3 Ergebnisse

3.1 Hydrologisches Monitoring

Der langfristige Regenwasserrückhalt auf den Retentionsdachbegrünungen ähnelt in den saisonalen Mustern grundsätzlich denen von Extensivgründächern. In den kühleren Monaten, insbesondere Oktober bis Februar, wird weniger Wasser zurückgehalten, wohingegen ab April bis September meist über 80 % des Regens zurückgehalten werden, teilweise kommt es in einigen Monaten zu gar keinem Abfluss (z.B. im Mai). Das bedeutet, dass in diesen Zeiträumen nahezu der gesamte gefallene Regen verdunstet wird. Die saisonalen Muster werden bei Betrachtung der Jahreszeiten deutlich (Abbildung 31).

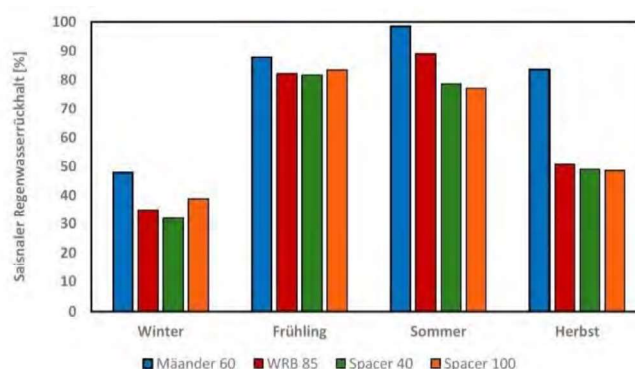


Abbildung 31: Jahreszeitlicher Regenwasserrückhalt [%] der unterschiedlichen Retentionsdachbegrünungen (Winter = Dez, Jan, Feb; Frühling = Mär, Apr, Mai; Sommer= Jun, Jul, Aug; Herbst = Sep, Okt, Nov) (Richter, 2022).

Während des betrachteten Gesamtzeitraums haben die unterschiedlichen Retentionsdachbegrünungstypen 64 – 79 % des Regenwassers zurückgehalten, die im Vergleich zu Extensivdächern (ca. 50%) zusätzliche Retentionsleistung ist wohl auf die gefällelose Ausbildung und die in der Vegetationsperiode erhöhte Verdunstungsleistung der Vegetation zurückzuführen. Die zusätzliche Retentionsleistung scheint vor allem im Frühling und Sommer geleistet zu werden, da die Werte für den Regenwasserrückhalt im Winter mit denen von konventionellen extensiven Dachbegrünungen vergleichbar sind. Auch bei den Einzelregen zeigt sich ein deutlicher saisonaler Unterschied bei den Mittelwerten des Regenwasserrückhalts für einzelne Regenereignisse (Abbildung 32).

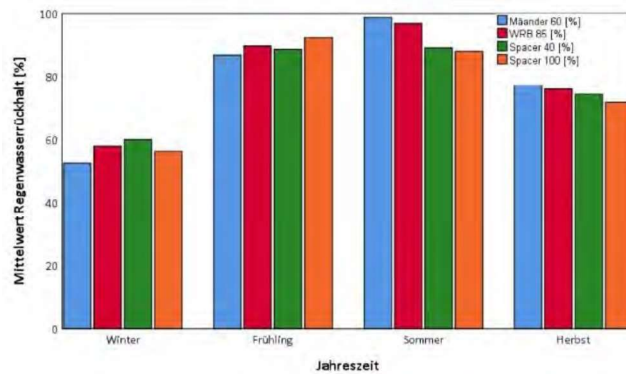


Abbildung 32: Jahreszeitliche Mittelwerte des Regenwasserrückhalts von einzelnen Regenereignissen der unterschiedlichen Retentionsdachbegrünungen (Winter = Dez, Jan, Feb; Frühling = Mär, Apr, Mai; Sommer = Jun, Jul, Aug; Herbst = Sep, Okt, Nov) (Richter, 2022).

Im Sommer und Frühling wurde mehr Wasser pro Regenereignis auf den Retentionsdachbegrünungen zurückgehalten (87 – 99 %) als im Herbst (72 - 83 %) und Winter (53 – 60 %). Alle Retentionsdachtypen haben eine im Vergleich zu konventionellen Extensivbegrünungen erhöhte Wirkung der Abflussdrosselung und -Verzögerung (Tabelle 5). Die Verzögerungen des nach einem Regen einsetzenden Abflusses von den Dächern beträgt im Mittel zwischen 157 und 442 Minuten (2,5 – 7,5 h).

Tabelle 5: Mittelwert der zeitlichen Verzögerung (min) des Abflusses gegenüber des zugehörigen Regens über den gesamten Messzeitraum und über Sommer (Jun, Jul, Aug) und Winter (Dez, Jan, Feb).

Abflussverzögerung [min]	M60	WRB85	Z40	Z100
Mittelwert	442	295	182	157
Sommer	649	548	267	256
Winter	160	55	73	52

Saisonale Unterschiede sind wiederum deutlich zu erkennen. Diese sind auf die erhöhte Evapotranspiration im Sommer und bei den Dächern mit Daueranbau (M60 & WRB85) auf die Speicherwirkung, Entleerung des Speichers durch Verdunstung und bei Regen Auffüllen des Speicherraums bis zum einsetzenden Abfluss zurückzuführen. Im Winter sind die Verzögerungszeiten für alle Typen geringer. Die im Winter geringen Unterschiede zwischen Dächern mit und ohne Daueranbau sind auf die in den kühlen Monaten außerhalb der Vegetationsperiode fehlende Entleerung des Speicherraums durch die Evapotranspiration der Pflanzen zurückzuführen. Die zeitliche Verzögerung der Abflüsse gegenüber dem einsetzenden Regen kann zur Überbrückung der „Stresszeit“ von Kanalisationen (ca. 2 h) unmittelbar nach Starkregenereignissen nützlich sein.

3.2 Pflanzen- und Käferarten

Die Unterschiede im Wasserdargebot werden auch anhand der Vegetationsentwicklung deutlich. Die beiden Dächer mit Dauereinstau (M60 & WRB85) zeigen üppigeren Bewuchs mit vermehrtem Auftreten von Gräsern, Kräutern und Wildblumenarten und eine deutlich höhere Artenzahl als z.B. die Extensivdachbegrünung (SD) (Tabelle 6). Auf den Retentionsdächern ohne Daueranbau dominiert eher typische Vegetation für Extensivbegrünungen wie Sedum-Arten (Z100) oder im Falle von Z40 herrscht eine ähnliche Artenvielfalt vor wie bei den Retentionsgründächern mit Dauereinstau. In dem Fall liegt dies vermutlich an der artenreicheren Ansaatmischung („Hamburger Naturdach“).

Tabelle 6: Auf den Dachbegrünungen vorkommende Pflanzenarten (x), kartiert im April – Juni 2022.

Dachtyp	WR	M6	Z40	Z10	SD
Artenzahl	28	24	25	16	14
<i>Achillea millefolium</i>	x	x			
<i>Anthemis tinctoria</i>	x	x			
<i>Bromus hordeaceus</i>	x		x	x	
<i>Campanula spec.</i>			x		
<i>Cirsium vulgare</i>	x	x			
<i>Clinopodium vulgare</i>			x	x	
<i>Crepis spec.</i>			x	x	x
<i>Dianthus deltoides</i>	x	x	x	x	
<i>Epilobium spec.</i>	x	x		x	
<i>Erodium cicutarium</i>			x		
<i>Festuca ovina</i>			x	x	
<i>Hieracium pilosella</i>			x	x	
<i>Hieracium piloselloides</i>	x	x			x
<i>Holcus lanatus</i>		x	x	x	x
<i>Hypericum perforatum</i>			x		
<i>Leucanthemum vulgare</i>	x	x			
<i>Linaria vulgaris</i>		x			
<i>Melilotus officinalis</i>		x			
<i>Origanum vulgare</i>	x	x			
<i>Petrorhagia saxifraga</i>	x				
<i>Plantago argentea</i>	x	x			
<i>Plantago lanceolata</i>	x				
<i>Poa annua</i>	x				
<i>Potentilla argentea</i>	x	x	x		
<i>Prunella grandiflora</i>	x	x			
<i>Prunella vulgaris</i>	x	x			
<i>Saxifraga granulata</i>			x		
<i>Sedum album</i>	x	x	x	x	x
<i>Sedum hispanicum</i>	x		x	x	x
<i>Sedum kamtschatikum</i>	x	x	x	x	x
<i>Sedum sexangulare</i>	x	x	x	x	x
<i>Sedum spurium</i>	x	x	x	x	x
<i>Senecio inaequidens</i>	x		x		
<i>Senecio vulgaris</i>			x		x
<i>Silene vulgaris</i>	x		x	x	
<i>Stellaria media</i>			x		
<i>Taraxacum officinale</i>	x	x	x	x	x
<i>Tragopogon pratensis</i>					x
<i>Trifolium arvense</i>	x	x			x
<i>Trifolium dubium</i>		x	x	x	x
<i>Trifolium pratense</i>	x	x	x		x
<i>Trifolium repens</i>		x			
<i>Veronica filiformis</i>	x				
<i>Vicia parviflora</i>	x		x		

Ein höherer Artenreichtum der Vegetation kann sich auch auf die Artenzahlen der Insekten auswirken. Auf den Retentionsdächern mit Dauereinstau wurden 74 Käferarten im Jahr 2021 festgestellt (Brenneisen et al., 2021), in der Artenzahl vergleichbar mit ebenfalls in Hamburg untersuchten Intensivbegrünungen und deutlich mehr als auf Extensivbegrünungen. Die Artenzahl kann demnach in der Regel mit der Schichtdicke der Vegetationstragschicht bzw. erhöhten Wasserspeicherkapazität verbunden sein (Brenneisen et al., 2021).

3.3 Kosten-Nutzen Betrachtung

Die Analysen zeigen, dass Retentions-Gründächer je nach verbautem Wasserspeicherelement in den Kosten sehr unterschiedlich ausfallen kann. Je höher die Wasserspeicherelemente, desto größer in der Regel der finanzielle Mehraufwand. Aus diesem Grund kann der Vergleich zu einem Standarddach oder Extensivdach sehr variabel ausfallen. Beispielsweise sind im Vergleich zu einem Extensivgründach die Mehrkosten des Retentionsgründaches mit kleinerem Retentionselement (40mm) und dafür größerer Substratschicht nur geringfügig. Ein Retentionsgründach mit größerem Retentionselement verursacht aber im Vergleich zum Extensivgründach oder Kiesdach große Mehrkosten. Berechnungen belegen, dass z.B. nachgeschaltete Mulden-Rigolen-Systeme bei einem Retentions-Gründach deutlich kleiner dimensioniert werden können und wiederum Kosten eingespart werden. Interviews mit Bauträgern haben außerdem ergeben, dass im Neubau keine Mehrkosten bezüglich erhöhten statischen Mehraufwandes zu erwarten sind.

4 Fazit

Retentionsdachbegrünungen sind eine wirksame Schwammstadt-Komponente und können Abflüsse von Dächern infolge von (Stark-)Regenereignissen erheblich reduzieren und verzögern. Durch die höhere Wasserspeicherfähigkeit kann sich ein vielfältigerer Bewuchs entwickeln, der mehr (Tier-)Arten Nahrung und Unterschlupf bieten kann. Wenn das Regenwasser dauerhaft auf dem Dach gespeichert wird, kann sich die Artenzusammensetzung langfristig verändern, die Verdunstungsleistung und somit die kühlende Wirkung auf die Umgebung erhöht und auch in Trockenperioden aufrechterhalten werden. Neben diesen Ökosystemleistungen können trotz z.T. deutlich höherer Baukosten u.U. ökonomische Vorteile von Retentionsdachbegrünungen, z.B durch Minimierung weiterer siedlungswasserwirtschaftlicher Anlagen auf Grundstücken, zukünftig weitere Anreize für diese Typen von Dachbegrünungen bieten. Vor dem Hintergrund der Klimafolgen in Städten und der Nachverdichtung und den damit einhergehenden Überlastungen der Kanalsysteme sind schon heute einige Kommunen dazu gezwungen, Einleitmengenbegrenzungen bis zu kompletten Abkopplungen von Bau- und Sanierungsgebieten zu fordern. Für Gebiete, die eine hohe Gebäudedichte aufweisen sind solche Retentionsdachbegrünungen demnach eine alternative blau-grüne Infrastruktur mit weitreichenden positiven Wirkungen über die hydrologischen Aspekte hinaus.

5 Quellenverzeichnis

- Andenaes, E., Kvande, T., Muthanna, T. M. & Lohne, J. (2018): Performance of Blue-Green Roofs in Cold Climates: A Scoping Review. BUILDINGS, Vol. 8, No. 4.
- Brenneisen, S., Szallies, A. & Opitz, F. (2021): Wissenschaftliche Erfolgskontrolle Dachbegrünungen Hamburg - Biomonitoring Käfer: Zwischenbericht 2021. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW. (*unveröffentlicht*)
- Busker, T., Moel, H. de, Haer, T., Schmeits, M., van den Hurk, B., Myers, K., Cirkel, D. G. & Aerts, J. (2022): Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes. Journal of Environmental Management, Vol. 301.
- Cirkel, D. G., Voortman, B. R., van Veen, T. & Bartholomeus, R. P. (2018): Evaporation from (Blue-)Green Roofs: Assessing the Benefits of a Storage and Capillary Irrigation System Based on Measurements and Modeling. WATER, Vol. 10, No. 9.
- Cristiano, E., Annis, A., Apollonio, C., Pumo, D., Urru, S., Viola, F., Deidda, R., Pelorosso, R., Petroselli, A., Tauro, F., Grimaldi, S., Francipane, A., Alongi, F., Noto, L. V., Hoes, O., Klapwijk, F., Schmitt, B. & Nardi, F. (2022): Multilayer blue-green roofs as nature-based solutions for water and thermal insulation management. Hydrology Research.

- Ebrahimian, A., Wadzuk, B. & Traver, R. (2019): Evapotranspiration in green stormwater infrastructure systems. *Science of The Total Environment*, Vol. 688, S. 797–810.
- FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (2018): Dachbegrünungsrichtlinien. Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen. Bonn.
- Förster, K., Westerholt, D., Kraft, P. & Lösken, G. (2021): Unprecedented Retention Capabilities of Extensive Green Roofs—New Design Approaches and an Open-Source Model. *Frontiers in water* [Online]. DOI: 10.15488/11768.
- Goessner, D., Mohri, M. & Krespach, J. J. (2021): Evapotranspiration Measurements and Assessment of Driving Factors: A Comparison of Different Green Roof Systems during Summer in Germany. *LAND*, Vol. 10, No. 12.
- Kaiser, D., Köhler, M., Schmidt, M. & Wolff, F. (2019): Increasing Evapotranspiration on Extensive Green Roofs by Changing Substrate Depths, Construction, and Additional Irrigation. *BUILDINGS*, Vol. 9, No. 173.
- Richter, M. (2022): Klimafolgenanpassung durch Dachbegrünung - Quantifizierung des Potenzials durch Vergleich internationaler Studien und Messungen an Hamburger Beispielen. Dissertation, Hamburg, HafenCity Universität.
- Shafique, M., Kim, R. & Lee, D. (2016): The potential of green-blue roof to manage storm water in urban areas. *Nature Environment and Pollution Technology*, Vol. 15, S. 715–718.

Korrespondenz:

Michael Richter
HafenCity Universität, Henning-Voscherau-Platz 1, 20457 Hamburg
+4940-42827-5335
michael.richter@hcu-hamburg.de