

Planungsinstrumente und Bewirtschaftungskonzepte für den Wasserhaushalt in Siedlungen

Isabel Scherer, Malte Henrichs, Mathias Uhl (Münster), Tobias Schuetz, Markus Weiler, Kirsten Hackenbroch, Florenz König und Tim Freytag (Freiburg i. Br.)

Zusammenfassung

Die integrale Bewirtschaftung der Oberflächen- und Grundwasserressourcen in siedlungsgeprägten Einzugsgebieten erfordert ein erhöhtes Verständnis des Wasserhaushalts des Siedlungsraums. Die Bewirtschaftung bedarf regionaler Zielgrößen sowie effektiver Instrumente zur Planung und Bewertung von Maßnahmen. Die Messprogramme in Münster und Freiburg liefern hierfür bereits wertvolle Erkenntnisse zu Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (RWBM) unter variierenden räumlichen und klimatischen Gegebenheiten. Die vorliegende Auswahl der bisher erzielten Ergebnisse zeigt deutlich die Komplexität des hydrologischen Verhaltens von RWBM auf, die sowohl auf lokal begrenzten Flächen als auch für geschlossene Siedlungsräume einen großen Einfluss auf die Ausprägung des Wasserhaushalts haben können. Erste Auswertungen der Akzeptanzanalyse, die in den Städten Freiburg, Münster und Hannover durchgeführt wurde, deuten darauf hin, dass Exposition und Sichtbarkeit als zentrale Faktoren für eine positive Bewertung von RWBM angesehen werden können.

Schlagwörter: Stadt, Urbaner Raum, Klimawandel, Wasserhaushalt, naturnah, wassersensible Stadtentwicklung, Regenwasserbewirtschaftung, Siedlungsentwässerung, Gründach, Pflasterflächen, Akzeptanzanalyse

DOI: 10.3243/kwe2017.04.005

Abstract

Planning Instruments and Management Concepts for Water Balances in Urban Areas

The integral management of surface and groundwater resources in urban-characterised catchment areas demands an enhanced understanding of the water balance in urban areas. Thus, the management requires regionally defined variables as well as effective instruments for the planning and implementation of measures. Monitoring programmes in Münster and Freiburg already provide valuable findings on stormwater control measures under varying spatial and climatic conditions. Recent results clearly show the complexity of the hydrological behaviour of stormwater control measures with significant impact on the hydrological characteristics on both, locally limited and enclosed residential areas. First evaluations of the acceptance analysis, which has been carried out in the cities of Freiburg, Münster and Hannover, indicate that exposure and visibility can be considered as key factors for a positive perception of stormwater control measures.

Key words: city, urban area, climate change, water balance, near-natural, water sensitive urban design, stormwater control measures, urban drainage, green roof, pavement, acceptance analysis

1 Verbundprojekt WaSiG

1.1 Hintergrund und Veranlassung

Siedlungsgeprägte Gewässer weisen erhebliche Veränderungen aller Komponenten des Wasserhaushalts und der hydrologischen Dynamik auf, die vornehmlich durch die Flächenversiegelung und die überwiegende Ableitung der Niederschlagsabflüsse bedingt sind. Auch stadtklimatische Folgen des stark veränderten Wasserhaushalts in Siedlungsgebieten

sind bekannt. Der Wasserhaushalt ist als Basisgröße eines guten ökologischen Zustands der Gewässer und somit als wesentlicher Bestandteil der Gewässerbewirtschaftung anzusehen (§ 5, 27, 47, 55, 57 WHG [1] sowie Regelwerke DWA-A 100 [2], DWA-A 102 (Entwurf) [3]). Dies begründete einen Paradigmenwechsel bei der Bewirtschaftung der Nieder-

schlagsabflüsse in Siedlungen, die nunmehr die Vermeidung, Versickerung und Verzögerung von Niederschlagsabflüssen anstelle der bisherigen vollständigen und schnellen Ableitung vorsieht.

Deutschland verfügt über vielfältige Landschaftstypen mit ihren morphologischen, hydrogeologischen und klimatischen Eigenschaften, die regional unterschiedliche Aufteilungen der Wasserhaushaltskomponenten bedingen. Die Bewirtschaftung siedlungsgeprägter Gewässer und der Niederschlagsabflüsse in Siedlungen muss sich demnach an den regionalen wasserwirtschaftlichen Verhältnissen orientieren.

Zur Bewirtschaftung des Wasserhaushalts bedarf es vornehmlich im Siedlungsraum regionaler Zielgrößen sowie meso- und mikroskaliger Planungsinstrumente für eine realitätsgerechte Ausgestaltung der Maßnahmen. Der Niederschlagswasserhaushalt steht dabei im Vordergrund. Die Wirksamkeit, Nachhaltigkeit und Resilienz der Bewirtschaftungsmaßnahmen müssen gegeben sein.

Im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme ReWaM wird hierzu seit Juni 2015 das Verbundprojekt „Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer (WaSiG)“ durchgeführt.

1.2 Ziele

Die Ziele des F/E-Verbundprojektes WASIG sind:

1. Aussagen zur wasserwirtschaftlichen Wirkung der Regenwasserbewirtschaftung in länger bestehenden Stadtquartieren
2. Analyse und Quantifizierung der Prozesse des Wasserhaushaltes in Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung
3. Validierung und Verbesserung realitätsnaher Teilprozessmodelle in meso- und mikroskaligen Simulationsmodellen für Wasserbilanzgrößen
4. Ableitung von Zielgrößen zum Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer als Planungsgrundlage
5. Aussagen zu Auswirkungen und Resilienz der Regenwasserbewirtschaftung im Zusammenhang mit den Folgen des Klimawandels
6. Aussagen zur Akzeptanz für Bewirtschaftungsmaßnahmen und zur Planungseffizienz bei wasserwirtschaftlich orientierter Siedlungsentwicklung
7. Datensammlung zu Kosten und Betrieb von Bewirtschaftungsmaßnahmen

1.3 Lösungsansatz

Der in vier fachliche Teilprojekte gegliederte Lösungsansatz des Vorhabens lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Prozess- und Wirksamkeitsanalyse wasserwirtschaftlich begründeter Regenwasserbewirtschaftung im Hinblick auf den Wasserhaushalt
 - (i) Untersuchung langfristig betriebener Regenwasserbewirtschaftung in drei unterschiedlichen Stadtteilen, (ii) Untersuchung von Teilprozessen in Bewirtschaftungsanlagen, (iii) allgemein verfügbare Datenbank für die Entwicklung und Validierung von Simulationsmodellen
2. Wasserhaushaltsmodelle für Bewirtschaftungsmaßnahmen in siedlungsgeprägten Gewässereinzugsgebieten

(i) Erstellung und Validierung realitätsnaher Teilprozessmodelle für Wasserbilanzgrößen in meso- und mikroskaligen Simulationsmodellen, (ii) Lösungen für die Skalenproblematik, (iii) Bereitstellung der Teilprozessmodelle als open-source-Modelle

3. Zielgrößen für den Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer

(i) Methoden zur Ableitung von Zielgrößen des Wasserhaushalts in siedlungsgeprägten Gewässereinzugsgebieten, (ii) Ableitung von Akzeptanzmaßen für Planungszwecke

4. Nachhaltigkeit und Resilienz

(i) Einflussfaktoren der aktuellen gesellschaftlichen Zustimmung für Bewirtschaftungsmaßnahmen, (ii) Konzepte für effiziente Planungs- und Verwaltungsabläufe in Kommunen, (iii) Quantifizierung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserhaushalt und Überflutungsverhalten in Siedlungsgebieten mit Bewirtschaftungsmaßnahmen

1.4 Projektpartner

Ein ausgewogener Verbund aus langjährig erfahrenen Praxispartnern aus Planung und Betrieb sowie Forschungspartnern aus Natur-, Ingenieur- und Gesellschaftswissenschaft gewährleistet einen integralen und praxisnahen Projektansatz. Die Projektpartner sind: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fachhochschule Münster, Landeshauptstadt Hannover, Stadt Freiburg, Stadt Münster, badenova AG & Co. KG (Freiburg), BIT Ingenieure AG (Freiburg), Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH (Hannover).

2 Monitoring und Modellierung in WaSiG

Ein umfangreiches Monitoring Programm an Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung in Münster, Freiburg und Hannover dient als Grundlage für die Weiterentwicklung meso- und mikroskaliger Simulationsmodelle, um Zielgrößen für den urbanen Wasserhaushalt zu definieren.

2.1 Erste Ergebnisse zum Messprogramm an Gründächern in Münster

In Münster wird im Rahmen von WaSiG, neben Messungen an Mulden, Mulden-Rigolen und durchlässigen Pflasterflächen, ein umfangreiches Messprogramm zu Gründächern durchgeführt. Ziel ist es, auf Grundlage hochaufgelöster Messzeitreihen einerseits das Prozessverhalten von Gründächern zu charakterisieren und andererseits Variationen der Parameter Substrathöhe und Substrattyp hinsichtlich ihres Retentionspotenzials und Systemverhaltens unter variierenden klimatischen Bedingungen zu untersuchen. Erkenntnisse hieraus fließen in die Weiterentwicklung eines mikroskaligen Prozessmodells.

Im Modellgebiet Münster werden neben zwei großtechnischen Gründachversuchsanlagen mit jeweils 80 m² (FHZ 1, FHZ 2), zehn halbtechnische Gründachaufbauten mit jeweils 3 m² Fläche (Gründach 1-10) untersucht. Die halbtechnischen Versuchsanlagen variieren in Substrathöhe (6 cm, 10 cm und 15 cm) und Substrattyp (Blähtongemisch und Tonziegelgemisch). Die beiden großtechnischen Versuchsanlagen verfügen jeweils über einen Aufbau von 6 cm Substrat (Blähtongemisch). Alle Gründächer im Messprogramm verfügen über ein

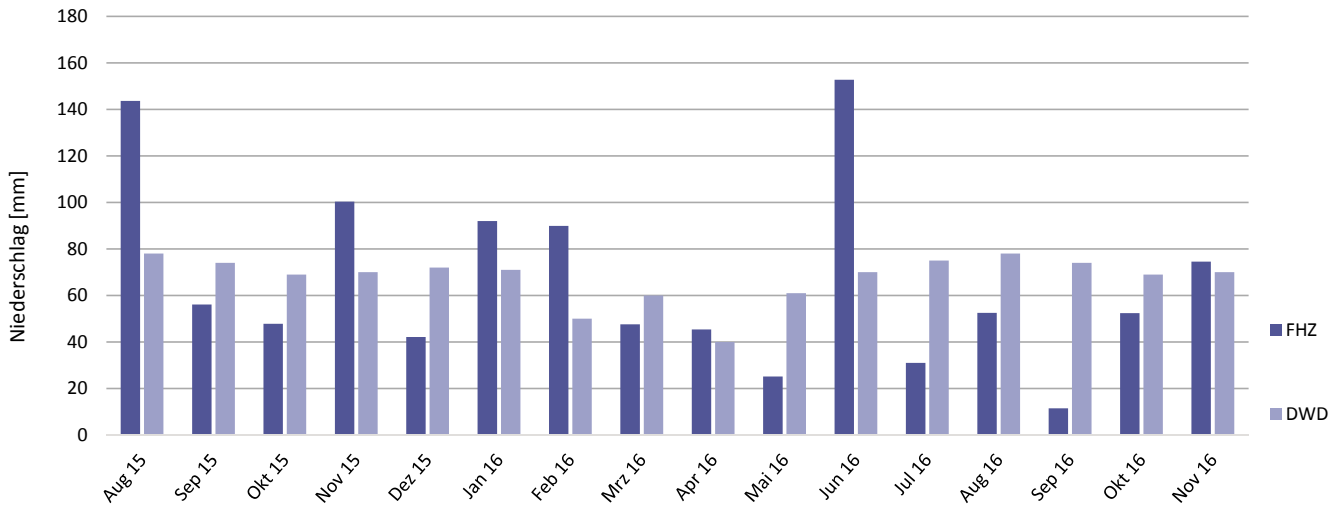


Abb. 1: Vergleich der monatlichen Niederschlagshöhen [mm] der Messungen am Fachhochschulzentrum Münster mit langjährigen Mittelwerten der DWD Messstation Münster/Osnabrück (1981–2010)

Gefälle von 3 % und einer Drainageplatte von 2,5 bzw. 3 cm Höhe. Die Vegetationsbedeckung besteht aus einer für Extensivbegrünungen typischen Mischung an Sedum Arten mit Kräutern und Gräsern [4].

Für die Darstellung und Modellierung der hydrologischen Prozesse eines Gründachs werden folgende Messgrößen erfasst: Abfluss, Bodenfeuchte, Niederschlag sowie die verdunstungsrelevanten Parameter Strahlung, Temperatur, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit. Der Abfluss wird volumetrisch mit einer Auflösung von 1 mm in einem selbstentleerenden Messbehälter erfasst. Dies entspricht einer Auflösung von ca. 0,1 mm Niederschlag. Die potenzielle Verdunstung wird nach Penman-Monteith [5] als Grasreferenzverdunstung [6] berechnet. Über Messwerte zur Bodenfeuchte und Informationen zur Vegetationsbedeckung wird die tatsächliche Verdunstung ermittelt.

Messungen zu Niederschlag und Abfluss werden an zwei großflächigen Extensiv-Gründächern seit Juni 2015 durchgeführt. Erste Ergebnisse für den Betrachtungszeitraum des hydrologischen Jahres 2016 nach DIN 4049 ergeben eine Niederschlagssumme von 743 mm am Fachhochschulzentrum (FHZ) Münster. In Abbildung 1 werden die Ergebnisse der Niederschlagsmessung am FHZ Münster dem langjährigen Mittel der DWD Klimastation Münster/Osnabrück [7] gegenübergestellt. Die im Juni 2016 an den Gründächern gemessenen Niederschläge liegen deutlich über dem langjährigen Monatsmittel, wohingegen die Niederschlagssummen im September 2016 deutlich unter dem langjährigen Monatsmittel von Münster lagen.

Für die Ermittlung des lokalen Wasserhaushalts sind die Wasserhaushaltskomponenten Niederschlag (Pkorr), Direktabfluss (RD), Grundwasserneubildung (GWN) und Verdunstung (Eta) erforderlich, die folgende Bilanz ermöglichen: $PKorr = RD + GWN + \eta_{Ta}$. Für die Analyse der Wasserhaushaltsgrößen von Gründächern werden neben den Niederschlagssummen die Daten zu Wasserstand und berechnetem Abfluss (Abbildung 2) aus dem Messprogramm herangezogen. Das Ereignis vom 16.08.2015 bis 19.08.2015 zeigt exemplarisch das Abflussgeschehen des Extensivgründachs FHZ 1 und ermöglicht Aussagen zu Retentions- und Translationsprozessen am zeitlichen Verlauf der Summenlinien von Niederschlag und Gründachabfluss.

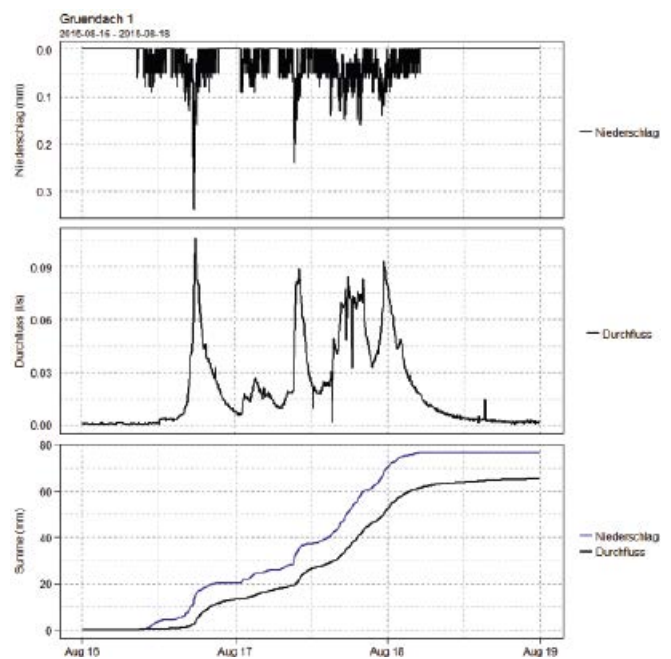


Abb. 2: hydrologische Analyse des Extensiv-Gründachs FHZ 1 mit 6 cm Substrat am Fachhochschulzentrum Münster mit den Messgrößen Niederschlag, Durchfluss und aufsummierten Niederschlags- und Abflussganglinien für das Ereignis vom 16.08.2015 bis 19.08.2015

Die Retentionsleistung eines Gründachs ist stark abhängig von Niederschlagshöhe und -intensität, Anfangswassergehalt sowie Substrathöhe. Für das in Abbildung 2 dargestellte Gründach ergibt sich ein relativ geringer Rückhalt für das Niederschlagsereignis (Jährlichkeit ca. $T = 50$ a, 76 mm Niederschlag in 48 h) mit einem Abflussbeiwert Ψ von ca. 0,9. Neben der Retention ist die Translation essentiell für das Prozessverständnis eines Gründachs. Für Gründach FHZ 1 (Abbildung 2) ergibt sich eine Retention von ca. 10 mm und eine Verzögerung des Abflusses um drei bis fünf Stunden nach Beginn des Niederschlagsereignisses.

Aus der Prozessanalyse ergeben sich erste Rückschlüsse auf das Retentionspotenzial des Gründachs mit 6 cm Substrat, was

den Mindestanforderungen an Substrathöhe der FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) für ein Extensiv-Gründach entspricht [4]. Zieht man eine saisonale Betrachtung der Abflussbeiwerte Ψ heran, ergibt diese für die Frühlingsmonate einen Abflussbeiwert Ψ von 0,33 und für den Sommer einen Abflussbeiwert Ψ von 0,47. Im Herbst und Winter steigt der Abflussbeiwert Ψ deutlich und liegt bei 0,62 bzw. 0,78. Der Monat Juni war im Jahr 2016 sehr niederschlagsreich und dementsprechend fällt der Abflussbeiwert Ψ mit 0,58 hoch aus im Vergleich zum langjährigen Monatsmittel. Die Monate Mai, Juli und September fielen im Betrachtungszeitraum sehr trocken aus, was sich im September mit einem Abflussbeiwert von 0,03 bemerkbar macht. Die berechneten monatlichen Abflussbeiwerte Ψ variieren deutlich innerhalb des hydrologischen Jahres 2016 mit 0,03 im September und 0,95 im Dezember 2015. Letzterer entspricht einer nahezu vollständigen Ableitung des Niederschlags. Der Jahresabflussbeiwert des hydrologischen Jahres 2016 für das untersuchte Gründach beträgt 0,47, und unterschreitet somit den Orientierungswert der FLL von 0,55 für ein Gründach identischen Aufbaus [4].

Die halbtechnischen Versuchsanlagen am Leonardo-Campus, die neben Niederschlag, Abfluss und verdunstungsrelevanten Parameter hochaufgelöste Daten zu Bodenfeuchte und Temperatur im Substrat aufzeichnen, eignen sich für eine detaillierte Betrachtung zu Variationen in Substrathöhe und Substratart. Die Anlagen laufen seit September 2016 im Langzeitmessbetrieb. Exemplarisch sind in Abbildung 3 die Ergebnisse aus den Messungen an Gründach 2 dargestellt, welches identisch zu den großtechnischen Versuchsanlagen am Fachhochschulzentrum auch über eine Substratschicht von 6 cm verfügt. Dies ermöglicht neben der Prozessanalyse zudem die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Messprogrammen an kleinen halbtechnischen Versuchsanlagen zu realen Dachflächen, welche dementsprechend modelltechnisch abgebildet werden können.

Am Beispiel des Gründachs 2 werden die Auswirkungen von Verdunstung auf die Bodenfeuchte des Gründachsubstrats deutlich, vor allem von Mitte September bis Mitte Oktober mit potenziellen Verdunstungsraten von zum Teil größer 2 mm/d. Zudem wird der komplette Niederschlag zwischen September und Mitte Oktober durch das Gründach zurückgehalten. Das



Abb. 3: Übersicht der Messgrößen Niederschlag, Bodenfeuchte und Durchfluss für Gründach 2 mit 6 cm Substrat am Leonardo-Campus Münster für den Zeitraum 01.10.2016 bis 15.11.2016

bedeutet, selbst Gründächer mit geringer Substrathöhe weisen bei entsprechenden meteorologischen Rahmenbedingungen bereits hohe Retentionspotenziale aufgrund des hohen Anteils an Porenvolumina des Substrats auf. Des Weiteren werden beispielhaft für Gründach 2 für den Zeitraum Mitte November 2016 die Auswirkungen einer anhaltenden Frostperiode auf das Gründachsubstrat deutlich (Abbildung 3).

Die Gründächer mit höherem Schichtaufbau im Messprogramm von WaSiG zeigen ein höheres Potenzial an Retention und verzögertem Abfluss, sowie ein höheres Verdunstungspotenzial aufgrund größerer beziehungsweise länger anhaltender Wasserverfügbarkeit. Zudem reagieren Gründächer mit höherer Substratschicht weniger sensitiv auf Frostgeschehen als Gründächer mit geringem Aufbau. Ein größerer Durchwurzelungsraum für Vegetation sowie ein höherer Nährstoff- und Wasserspeicher sind weitere Vorteile von höherschichtigen Gründachaufbauten. Gründächer ab einer Substrathöhe von 10 cm weisen daher eine größere Resilienz für länger anhaltende Stressphasen wie Trocken- und Kälteperioden auf, sowie vermehrt auftretende Starkregenereignissen [8]. Die aktuellen Ergebnisse aus WaSiG bestätigen Ergebnisse aus internationalen Monitoring-Programmen [9, 10, 11] und vervollständigen Erkenntnisse zu Gründächern unter einem feucht-gemäßigten, ozeanisch geprägten Klima mit warmen Sommern [12].

2.2 Erste Ergebnisse von Messungen an durchlässigen und teildurchlässigen Flächen in Freiburg

Ein wichtiges Element der nachhaltigen urbanen Regenwasserbewirtschaftung sind teilversiegelte urbane Oberflächen [13], wie z. B. Pflasterflächen, die in erster Linie als dezentrale Maßnahmen zur Versickerung von Niederschlagswasser eingesetzt werden, da sie keinen zusätzlichen Platz verbrauchen [13] (zum Teil auch unter Einbezug angeschlossener versiegelter Flächen). Ein Schwerpunkt der Messungen innerhalb des WaSiG-Projekts liegt auf der Untersuchung der kurz- (ereignisbezogen) und langfristigen (saisonal, jährlich) Dynamik des Wasserhaushalts teilversiegelter urbaner Flächen. Auf Rasen-Pflasterflächen und Fugen-Pflasterflächen findet im Vergleich zu natürlichen Oberflächen verstärkt Infiltration statt, es ist jedoch bisher nicht eindeutig nachgewiesen, ob teilversiegelte Flächen die Verdunstung eher unterbinden oder durch direkte Wärmeleitung zusätzliche Verdunstungsenergie zur Verfügung stellen. Allgemein sind nur wenige kontinuierliche Messdaten der Wasserbilanz für unversiegelte und teilversiegelte Flächen innerhalb von Siedlungen verfügbar [14] und es ist daher nicht gesichert, wie sich der Wasserhaushalt dieser Flächen speziell auf die beiden langfristigen Komponenten Grundwasserneubildung und Verdunstung für gesamte Siedlungsräume oder Städte auswirken. Dies führt auch zu hohen Unsicherheiten in der Parametrisierung und Anwendung stadthydrologischer Modelle. Eine verbesserte Parametrisierung durch kontinuierliche in-situ-Messungen und detaillierte Analysen bestehender Datensätze werden eine realitätsgerechtere Simulation des urbanen Wasserhaushalts ermöglichen.

Ein erster Baustein in der Bewertung der Wasserhaushaltsdynamik von Pflasterflächen als aktives Element der urbanen Regenwasserbewirtschaftung ist die Identifizierung relevanter Pflaster- und Oberflächentypen und die Charakterisierung und Quantifizierung ihrer hydrologisch relevanten Eigenschaften. Im weiteren Text wird zur Verbesserung des Leseflusses nur

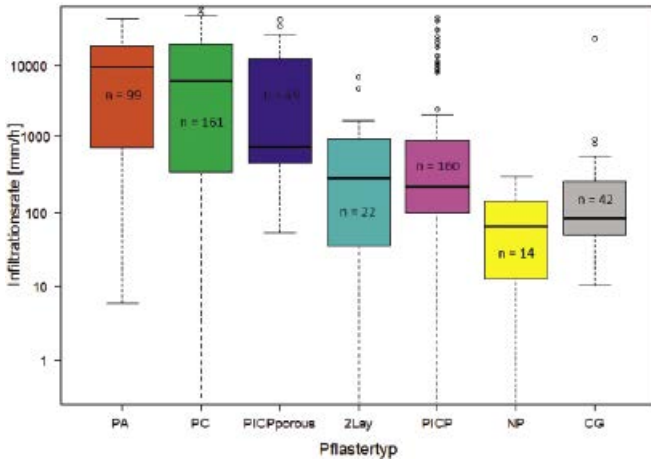


Abb. 4: Überblick über die Variation gemessener Infiltrationsraten von 7 verschiedenen Pflaster-/Oberflächenarten aus 48 publizierten Studien und eigenen Versickerungsversuchen (poröser Asphalt (PA), durchlässiger Beton (PC), verzahnte Betonpflaster (PICP), poröse verzahnte Betonpflaster (PICPporous), zwei- und mehrlagige Betonpflaster (2-Lay), Naturpflastersteine (NP) und Rasengittersteine (CG).

noch die Bezeichnung Pflaster für alle untersuchten Oberflächentypen verwendet. Im Rahmen einer umfassenden nationalen und internationalen Literaturrecherche und ergänzenden Versickerungsversuchen in Freiburg (29 Pflasterflächen, Doppelring-Infiltrometer mit „Falling-Head“-Methode) wurden sieben relevante Typen von Pflasterflächen bestimmt und ihre Versickerungsleistung in Bezug zu verschiedenen Grundeigenschaften wie Fugenanteil, Fugenmaterial, Alter etc. gesetzt [15, 16]. Zu diesen sieben Typen zählen poröser Asphalt (porous asphalt, PA), durchlässiger Beton (permeable concrete, PC), verzahnte Betonpflaster (permeable interlocking concrete pavers, PICP), poröse verzahnte Betonpflaster (porous permeable interlocking concrete pavers, PICPporous), zwei- und mehrlagige Betonpflaster (two-layered permeable concrete, 2-Lay), Naturpflastersteine (natural stone pavers / cobblestone, NP) und Rasengittersteine (turf/concrete grid, CG). Insgesamt konnte so aus 27 publizierten Studien ein Datensatz mit 547 Messwerten (davon 29 eigene) zur Infiltrationsleistung von Pflasterflächen zusammengetragen werden. Die große Mehrheit der zusammengefassten Messwerte wurde mittels Doppelringinfiltrometer-Versuchen (Falling- bzw. Constant Head-Methode) und Berechnungsversuchen sowohl in Freiland- als auch in Laborstudien ermittelt. Für die Auswertung der Daten wurden die gemessenen Endinfiltrationsraten aus den vorliegenden Studien extrahiert und in Zusammenhang gesetzt.

Abbildung 4 zeigt einen Überblick über die Variabilität der Infiltrationsleistungen der verschiedenen Pflasterarten. Dabei fällt auf, dass die beobachteten Infiltrationsraten unabhängig vom betrachteten Pflasterart über zwei bis vier Größenordnungen variieren. Pflasterarten die neben den Fugen auch aus durchlässigen Materialien bestehen (PA, PC und PICPporous, 2-Lay) zeigen tendenziell höhere Infiltrationsraten als Pflasterarten die nur über die Fugen eine Versickerung des Niederschlags zulassen (PICP, NP, CG). Auch wenn in der Umsetzung die porösen Materialien noch nicht die Mehrzahl der eingesetzten Oberflächentypen stellen, wurden in den recherchierten Studien deutlich mehr experimentelle Untersuchungen an die-

sen Flächen durchgeführt (331 von 547 Messwerten). Dieser Umstand zeigt auch deren Potenzial für die Siedlungswasserbewirtschaftung auf. Betrachtet man die Streuung der Infiltrationsleistung aller Oberflächentypen wird schnell klar, dass auch deutliche Abweichungen zur gewünschten Infiltrationsleistung beobachtet wurden: die minimalen Infiltrationsleistungen aller betrachteter Pflasterarten liegt zwischen 0 – 10 mm/h während die Maxima zwischen 300 und > 200000 mm/h liegen. Somit sind die Unterschiede in der Infiltrationsrate zwischen einzelnen Pflasterarten zum Teil deutlich kleiner als die Unterschiede innerhalb eines bestimmten Pflasterart. Mögliche Ursachen sind unterschiedliche Flächenanteile der Fugen zwischen den Pflastersteinen, der Aufbau der Pflasterflächen, der Bewuchs der Fugen, das Fugenfüllmaterial, aber auch das Alter und der Wartungszustand der betrachteten Pflasterflächen. Für alle aufgeführten Eigenschaften konnten Zusammenhänge mit der Infiltrationsleistung nachgewiesen werden. Den mit Abstand stärksten Zusammenhang aller Pflaster-Charakteristika mit der Infiltrationsrate zeigt über alle Pflasterarten hinweg das Alter der untersuchten Pflasterflächen (hoch signifikante, potenzielle Abnahme der Infiltrationsrate, Abbildung 5, oben). Auch andere Infiltrationssteuernde Merkmale, wie z. B. das Fugen-Füllmaterial zeigen nicht nur einen Zusammenhang mit der Infiltrationsleistung, sondern unterliegen selbst einem Alterungsprozess unabhängig von der eingesetzte Korngrößenfraktion (siehe Abbildung 5, unten).

Die vorliegende Auswahl der bisher erzielten Ergebnisse zeigt deutlich die Komplexität des hydrologischen Verhaltens von Pflasterflächen auf, die sowohl auf lokal begrenzten Flä-

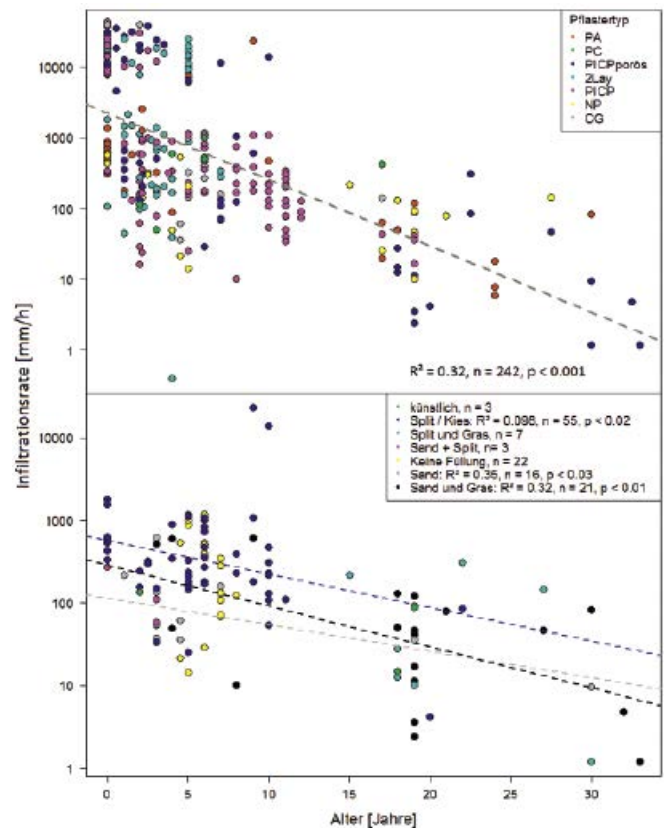


Abb. 5: Zusammenhang zwischen Infiltrationsleistung und Alter einer Pflasterfläche über alle identifizierten Pflasterarten (oben) für bestimmte Fugen-Füllmaterialien (unten).

chen als auch für geschlossene Siedlungsräume einen großen Einfluss auf die Ausprägung des Wasserhaushalts haben können. Im Besonderen gilt dies für die hydrologische Modellierung und die realitätsgerechte Implementierung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, deren Aussagekraft gerade für die langfristigen Simulationen des urbanen Wasserhaushalts durch eine verbesserte Parametrisierung der berücksichtigten Prozesse gewinnen kann.

3 Gesellschaftliche Akzeptanz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen

Im Hinblick auf die Akzeptanz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (RWBM) wird die Zustimmung und Handlungsbereitschaft von kommunalen Akteuren bereits seit den 1990er-Jahren untersucht [17, 18]. Über die Wahrnehmung und Akzeptanz von RWBM durch die (städtische) Bevölkerung ist jedoch abgesehen von individuellen Erfahrungsberichten nur wenig bekannt. Ziel der im Rahmen des WaSiG-Projekts durchgeführten Haushaltsbefragung war es daher, Informationen über Erfahrungen und Einschätzungen der Bevölkerung, das Maß und die Einflussfaktoren der aktuellen gesellschaftlichen Zustimmung gegenüber verschiedenen RWBM zu erhalten. Diese Informationen sollen in laufende Diskussionen und Entscheidungsprozesse zur Gestaltung bestehender und neuer Stadtquartiere und Freiräume Eingang finden.

Das Design der Haushaltsbefragung orientiert sich an Erkenntnissen aus der Akzeptanzforschung [19, 20]. Gestützt auf Beiträge aus den Gesellschaft-Technikstudien und der Umweltpsychologie wurde in vorliegenden Forschungen zur Akzeptanz erneuerbarer Energien ein auf zwei Dimensionen beruhender Akzeptanzbegriff konzeptualisiert [19]: auf der Einstellungs- oder Bewertungsdimension werden Akzeptanzobjekte (hier also RWBM) vor dem Hintergrund persönlicher Präferenzen und gesamtgesellschaftlicher Wertvorstellungen auf einer von negativ bis positiv reichenden Skala bewertet. Auf der Handlungsdimension positionieren sich die Akzeptanzsubjekte (hier die Befragten) zwischen aktiv und passiv. Zum Widerstand gegen vorhandene oder geplante Infrastrukturen kann es demnach kommen, wenn ein Akzeptanzsubjekt diese sowohl negativ bewertet als auch bereit ist aktiv zu handeln. Hinsichtlich der Akzeptanz von RWBM vermag die Befragung nicht nur Erkenntnisse über die gesellschaftliche Wahrnehmung und Bewertung dieser grünen Infrastruktur zu liefern, sondern auch Erkenntnisse über die Bereitschaft der Bevölkerung zu gewinnen, in diesem Bereich ökologischer Stadtentwicklung selbst zu handeln bzw. sich als mitgestaltender Akteur zu sehen.

Die Haushaltsbefragung wurde an 24 Standorten in den Städten Freiburg, Hannover und Münster durchgeführt. Die Befragungsstandorte wurden anhand der folgenden Kriterien ausgewählt: (a) Innovation in der Regenwasserbewirtschaftung: abgegrenzte (Neubau-) Stadtquartiere mit Exposition zu charakteristischen RWBM gegenüber Kontrollstadtteilen mit überwiegend konventionellen Maßnahmen; (b) Bebauungsstruktur: Einfamilien- und Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser oder Großwohnblöcke; sowie (c) sozioökonomische Strukturen der Bevölkerung. Die Befragung erfolgte schriftlich als Einwurf von insgesamt 17 289 Fragebögen mit Rücksendung im August und September 2016 bei einer Rücklaufquote von 9,3 %.

Erste Ergebnisse der Haushaltsbefragung liegen für die Einstellungs- und Bewertungsdimension vor. Das Wissen und die



Abb. 6: Wissen über die Behandlung von Regenwasser



Abb. 7: Bewertung öffentlicher Versickerungsanlagen (Die Prozentbalken zeigen die Zustimmung der Befragten zur jeweiligen Aussage)

Erfahrungen der Befragten geben Aufschluss darüber, inwiefern eine Auseinandersetzung mit RWBM innerhalb der Bevölkerung stattfindet. Weiterhin konnten erste Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie die Bevölkerung öffentlich sichtbare Versickerungsanlagen bewertet.

Der Wissensstand der Befragten in Bezug auf die Behandlung von Regenwasser in ihrem Wohnhaus ist besonders hoch in den flächenmäßig eher kleinen und räumlich abgegrenzten Neubaugebieten mit charakteristischen RWBM. Die gute Sichtbarkeit der modellhaften Maßnahmen hat offenbar einen positiven Einfluss auf den Wissenserwerb in diesem Bereich. Insgesamt am besten informiert ist die in Einfamilien- oder Reihenhäusern lebende Bevölkerung – unabhängig von der Art der RWBM im betreffenden Stadtteil. Ebenso besitzt die in Wohneigentum lebende Bevölkerung sehr gute Kenntnisse über die Art der Regenwasserbewirtschaftung in ihrem Stadtteil (vgl. Abbildung 6).

Die in Stadtquartieren mit charakteristischen RWBM lebende Bevölkerung wurde nach positiven und negativen Erfahrungen mit der Regenwasserbewirtschaftung gefragt. In Freiburg haben die Befragten überwiegend positive Erfahrungen mit RWBM gemacht (51,3 % positive, nur 9,5 % negative). In Münster hingegen überwiegen die negativen Erfahrungen sehr deutlich (22,9 % negative und 12,5 % positive Erfahrungen). Diese erheblichen Unterschiede können als Hinweis auf eine

andere Art der Exposition gewertet werden. So zeigten Raumbeobachtungen in Freiburg eine gegenüber Münster höhere Sichtbarkeit von RWBM im Stadtbild und eine regelmäßige Freizeinutzung von öffentlichen Versickerungsflächen durch die Stadtbevölkerung im Alltag.

Anhand der Bewertung von Versickerungsanlagen im öffentlichen Raum lässt sich ebenfalls erkennen, dass Sichtbarkeit und Exposition eine bewertungsverändernde Wirkung haben. In Stadtteilen mit charakteristischen RWBM werden diese von den Befragten prozentual häufiger als Bereicherung angesehen. Dies betrifft die Bewertung der Anlagen als wertvollen Freiraum, als Beitrag zum Umweltschutz und als Flächen für die Erlebbarkeit von Wasser. In Stadtteilen ohne größere charakteristische RWBM geben die Befragten prozentual häufiger an, durch derartige Anlagen Beeinträchtigungen zu befürchten, resultierend aus unregelmäßiger Pflege der Flächen oder infolge stehenden Wassers (vgl. Abbildung 7).

Die vorliegenden ersten Erkenntnisse aus der Befragung deuten darauf hin, dass Exposition und Sichtbarkeit als zentrale Faktoren für eine positive Bewertung von RWBM angesehen werden können. Für die gesellschaftliche Akzeptanz ergibt sich damit eine erste Weichenstellung für die Stadtpolitik: eine zunächst positive Bewertung durch die Stadtbevölkerung kann je nach Verortung auf der Handlungsdimension als Ausdruck von Toleranz und Zustimmung bis hin zur Bereitschaft zu aktiver Unterstützung verstanden werden [19]. Die Verortung der Befragten auf der Handlungsdimension gilt es in den nächsten Auswertungsschritten zu beschreiben und zu analysieren.

4 Ausblick

Ziel der integralen Betrachtung des Wasserhaushalts siedlungsgeprägter Gewässer im Forschungsprojekt WaSiG ist es neben einer detaillierten Analyse und Quantifizierung der Prozesse in Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung, die Betriebssicherheit, Resilienz und Nachhaltigkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Siedlungsräumen zu gewährleisten.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus den Monitoringprogrammen werden vorhandene, hydrologische Simulationsmodelle erweitert und verbessert. Dies ermöglicht Aussagen zur langfristigen Auswirkung von RWBM auf den urbanen Wasserhaushalt zu treffen. Weiterhin werden Zielgrößen als Planungsgrundlagen für eine realitätsgerechte Implementierung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung in der Praxis abgeleitet.

Anhand der Akzeptanzanalyse zu RWBM werden nun Einflussfaktoren und Konzepte für eine effiziente Umsetzung von RWBM in Planungs- und Verwaltungsabläufe in Kommunen definiert.

Dank

Ein besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung des Verbundvorhabens „Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer“ (WASIG) (Förderkennzeichen 033W040C).

www.dwa.de/Gebrauchtmarkt



DWA-Gebrauchtmarkt

Verkauf, Ankauf, Miete, Leasing und Tausch von Wasser- und Abwassertechnik

for
SALE

Der DWA-Gebrauchtmarkt ist eine branchenspezifische Plattform für die Wasser- und Abwasserwirtschaft.

Gebrauchte, aber funktionsfähige Geräte müssen im Rahmen von Modernisierungen nicht entsorgt werden, sondern können einen wichtigen Beitrag zur Finanzierung leisten. Auch gibt es zahlreiche Hersteller, die ihre Anlagen vermieten.

Den DWA-Gebrauchtmarkt finden Sie online: www.dwa.de/Gebrauchtmarkt

Ihr Ansprechpartner:
Christian Lange B.A. · Tel.: +49 2242 872-129 · E-Mail: lange@dwa.de

Unser Dank gilt Marleen Schübl, Carolin Siebert und Michael Klos, die im Rahmen von Datenrecherchen, Datenanalysen und Geländearbeiten einen großen Beitrag geleistet haben.

Literatur

- [1] WHG – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz) in der Fassung vom 19. August 2002, BGBl. I S. 3245. Stand: zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 25. Juni 2005, BGBl. I S. 1746
- [2] DWA-A 100: Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISIE). DWA-Arbeitsblatt 100. Hennef: GFA, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V.
- [3] DWA-A 102 (Entwurf): Niederschlagsbedingte Siedlungsabflüsse – Grundsätze und Anforderungen zum Umgang mit Regenwasser. DWA-Arbeitsblatt 100. Hennef: GFA, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V.
- [4] FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.: Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen – Dachbegrünungsrichtlinie. Bonn, FLL, 2008.
- [5] J. L. Monteith: *Evaporation and Environment*. Proc. Symp. Soc. Exp. Biol., 19, S. 205 – 234, 1965.
- [6] R. G. Allen, M. Smith, L. S. Pereira, A. Pereira: An Update for the Calculation of Reference Evapotranspiration. ICID Bulletin, Vol. 43, No. 2, 1994, S. 35 – 93.
- [7] DWD, Niederschlagsdaten: langjährige Mittelwerte von 1981-2010, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, 2016.
- [8] H. Ye, E. J. Fetzner, S. Wong, B. H. Lambriksen: Rapid decadal convective precipitation increase over Eurasia during the last three decades of the 20th century, *Sci. Adv.* 3, e1600944, 2017.
- [9] V. Stovin, S. Poë, S. De-Ville, C. Berretta: The influence of substrate and vegetation configuration on green roof hydrological performance, *Ecological Engineering* 85, 2015, S. 159–172.
- [10] M. C. Gromaire, D. Ramier, M. Seidl, E. Berthier, M. Saad, B. de Gouvello: Impact of extensive green roofs on the quantity and quality of runoff – first results of a test bench in the Paris region, Novatech, Lyon, 2013.
- [11] L. Locatelli, O. Mark, P. S. Mikkelsen, K. Arnbjerg-Nielsen, M. B. Jensen, P. J. Binning: Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications, *Journal of Hydrology* 519, 2014, S. 3237–3248.
- [12] J. Christoffer, T. Deutschländer, M. Webs: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, 2004.
- [13] S. Borgwardt: Long-term in-situ infiltration performance of permeable concrete block pavement. Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving, San Francisco, CA, USA. Vol. 68. 2006.
- [14] G. Wessolek: Sealing of soils. In *Urban ecology*, 2008, S. 161-179.
- [15] Schübl, M.: Die Wasserbilanz teilversiegelter Flächen im urbanen Raum – eine Metaanalyse. Bachelorarbeit an der Professur für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015.
- [16] Siebert, C.: Untersuchungen zur Infiltrationsleistung von Pflasterflächen. Bachelorarbeit an der Professur für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016.
- [17] G. Beneke: Naturnahe Wasserbewirtschaftung – Ein Selbstläufer? Zur Verankerung dieses Ansatzes in Kommunalpolitik und Kommunalverwaltung, *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 39(6), 1998, S. 242–246.
- [18] Hamburger Stadtentwässerung AöR (HSE) und Behörde für Umwelt und Energie (BUE) (Hrsg.): Strukturplan Regenwasser 2030: Zukunftsfähiger Umgang mit Regenwasser in Hamburg, Ergebnisbericht des Projektes RISA, 2015.
- [19] P. Schweizer-Ries: Energy sustainable communities: Environmental psychological investigations, *Energy Policy* 36(11), 2008, S. 4126–4135.
- [20] I. Rau, P. Schweizer-Ries, J. Hildebrand: Participation Strategies – The Silver Bullet for Public Acceptance? In S. Kabisch, A. Kunath, P. Schweizer-Ries, A. Steinführer (Hrsg.): *Vulnerability, Risk and Complexity: Impacts of Global Change on Human Habitats*, Hogrefe, Leipzig, 2012, S. 177–192.

Autoren

Isabel Scherer, M.Sc.

Dr. Malte Henrichs

Prof. Dr. Mathias Uhl

Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU)

Fachhochschule Münster

Corrensstraße 25, 48149 Münster

Dr. Tobias Schuetz

Prof. Dr. Markus Weiler

Professur für Hydrologie

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Friedrichstraße 39, 79098 Freiburg i. Br.

Dr. Kirsten Hackenbroch

Florenz König

Prof. Dr. Tim Freytag

Institut für Umweltsozialwissenschaften und Geographie

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Schreiberstraße 20, 79085 Freiburg i. Br.

E-Mail: scherer@fh-muenster.de

KW

www.dwa.de/mediadaten



Mediainformationen 2017 jetzt online verfügbar!

Gerne senden wir Ihnen ein Angebot für Ihre Mediaplanung zu.

Kontakt: Christian Lange, Tel.: 02242 872-129, E-Mail: anzeigen@dwa.de

