Erfahrungen und Ergebnisse aus 15 Jahren naturnaher Regenwasserbewirtschaftung

Joachim Sartor (Trier)

Zusammenfassung

In Übereinstimmung mit der Forderung jüngerer Regelwerke wurde ein Projekt bearbeitet mit dem Ziel, die natürliche Wasserbilanz in Siedlungsgebieten einzuhalten, um die weithin bekannten Nachteile durch Flächenversiegelung zu vermeiden. Über 15 Jahre wurden dazu an einem Einfamilienhaus die Komponenten Regenwassernutzung, Gründach und Versickerung im laufenden Betrieb untersucht. Niederschlag und Abflüsse wurden an mehreren Schnittstellen messtechnisch erfasst, um mit der entsprechenden Datenbasis die Eignung von mathematischen Simulationsansätzen zu testen. Praktisch bewährt hat sich dabei insbesondere das Gründach als „Filter" für den Regenwassernutzungstank sowie der Anschluss einer Steildachfläche an das Gründach zu dessen besserer Wasserversorgung in regenarmen Zeiten und zum Rückhalt bei Starkregen. Hinsichtlich der hydrologischen Simulation erwies sich die Verdunstung als einflussreichste Einzelkomponente.

Schlagwörter: Entwässerungssysteme, Wasserbilanz, Siedlung, Regenwasser, Bewirtschaftung, Nutzung, Gründach, Versickerung, Verdunstung, Simulation, Niederschlag-Abfluss-Modell, DWA-A 100, DWA-A 102

DOI: 10.3242/kae2018.09.001

Abstract

Experiences and results from 15 years of natural rainwater management

In keeping with stipulations set out in recent legislation, a project was undertaken with the goal of complying with the natural water balance in residential areas in an effort to avoid the widely known drawbacks associated with creating impervious surfaces. To this end, the elements of rainwater use, green roofs and seepage were examined over a 15-year period using the example of a running single-family home. Precipitation and discharge were measured using technology at several interfaces so that this data could be used to test the suitability of mathematical simulation approaches. In practice, using green roofs as a filter for rainwater tanks and connecting the green roof to a steep roof to improve water supply in periods with little rainfall and to store water during heavy rainfall events have proven their mettle. Evaporation turned out to be the most influential element in terms of hydraulic simulation.

Key words: drainage systems, water balance, residential area, rainwater, management, use, green roof, seepage, evaporation, simulation, rainfall discharge model, DWA-A 100, DWA-A 102

1 Einleitung

Grundidee des Projekts, über dessen Ergebnisse hier berichtet wird, ist die Einhaltung der natürlichen Wasserbilanz in Siedlungsgebieten, um die weithin bekannten Nachteile durch Flächenversiegelung zu vermeiden. Dies sind im Regelfall

- verringerte Grundwasserneubildung
- Verschärfung der Hoch- und Niedrigwasserabflüsse im Gewässer sowie
- Änderungen im Kleinklima (geringere Verdunstung, Erwärmung und Staubbildung).

Die Einhaltung bzw. weitgehende Annäherung an die natürliche Wasserbilanz wird auch durch die jüngeren Regelwerke für die Siedlungswasserwirtschaft DWA-A 100 [1] und DWA-A 102/BWK-A 3 (Entwurf) [2] gefordert. Daher werden als Ergänzung oder Alternative zu Ableitung und technischem Rückhalt zunehmend Konzepte der sogenannten naturnahen Regenwasserbewirtschaftung in Baugebieten angestrebt. Diese können folgende Maßnahmen (bzw. -kombinationen) umfassen

- Entsiegelung
- Versickerung
- Dachbegrünung
- Dacheinstau
- Regenwassernutzung.

Abgesehen von der Vermeidungsstrategie bei Neubaugebieten (Minimierung der versiegelten Flächen) beschränkt man sich hinsichtlich dieser Einzelmaßnahmen in der Praxis derzeit aber noch weitgehend auf die Umsetzung von Versickerungsmaßnah-

men. Dies hat vor allem wirtschaftliche Gründe, da bei der hydraulischen Bemessung von Kanalisationsnetzen die so „abgekoppelten“ Flächen nicht in Rechnung gestellt werden müssen. Wie in [3] näher beschrieben, lässt sich mittels einfacher Bilanzrechnungen zeigen, dass aufgrund der weitgehend entfallenden Verdunstungskomponente durch solche reinen Versickerungsmaßnahmen im Jahresmittel dem Untergrund (je nach Flächennutzung vor der Bebauung) zwischen dem 2- und 7-fachen der natürlichen Mengen zugeführt wird. Es gibt Beispiele ausgeführter Versickerungsanlagen, die funktionieren, und solche, die es aus dem genannten oder anderen Gründen (zum Beispiel Bodenverdichtung während des Baus) nicht tun. Im Versagensfall können die direkt spürbaren Folgen für die An- und Unterlieger von allgemeiner Bodenvernässung bis zu Hangrutschungen reichen.

Schaltet man einer Versickerungsanlage dagegen zum Beispiel ein Gründach oder eine Regenwassernutzungsanlage vor, kann die Wasserbilanz im Jahresmittel annähernd eingehalten werden. Damit wird die Aufnahmekapazität des Bodens bzw. der Hochwasserrückhalteeffekt erhöht, und es kommt im Idealfall somit zu keiner Abflussverschärfung im Gewässer.

2 Projektkonzeption

2.1 Projektziel und Untersuchungsobjekt

Die Komponenten einer Regenwasserbewirtschaftung, die auf eine Einhaltung der natürlichen Wasserbilanz abzielt, wurden

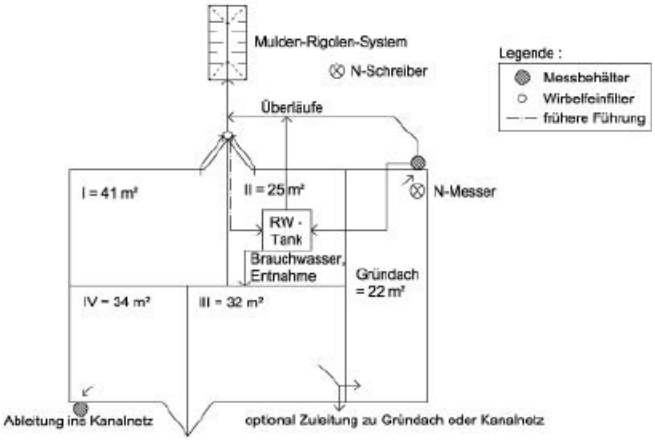


Abb. 1: Anlagenprinzip mit Messanordnung (I bis IV: Steildachflächen)

vom Verfasser von September 1997 bis Ende 2012 in einem relativ aufwendigen Messprogramm untersucht. Gemäß Abbildung 1 und 2 besteht die sich in der Ortschaft Lieser/Mosel befindliche Anlage (Einfamilienhaus) aus Regenwassernutzung und extensivem Gründach, deren Überläufe einer Versickerungsanlage (Mulden-Rigolen-System) zugeführt werden. Beispielsweise durch die Umlenkung von Steildachabflüssen auf das Gründach sind verschiedene Versuchsanordnungen möglich. Sowohl Niederschlag (N) wie auch Abflüsse (Q) wurden an meh-

Verstopfen Ihre Abwasserpumpanlagen regelmäßig?

Zuverlässiger Rückhalt von Feststoffen in Pumpstationen mit der HUBER Schachtsiebanlage ROTAMAT® RoK 4

Wir schützen Ihre Pumpen durch einen optimalen Feststoffrückhalt. Unsere Siebanlage ist auch für tiefe Schachtbauwerke hervorragend geeignet und garantiert eine dauerhafte Verfügbarkeit Ihrer Pumpstationen.

www.huber.de info@huber.de

HUBER TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions

Abb. 2: Gesamtansicht (im Vordergrund Garage mit Gründach)

reren Schnittstellen messtechnisch erfasst. Im Detail stellten sich die Einzelkomponenten zu Versuchsbeginn 1997 wie folgt dar:

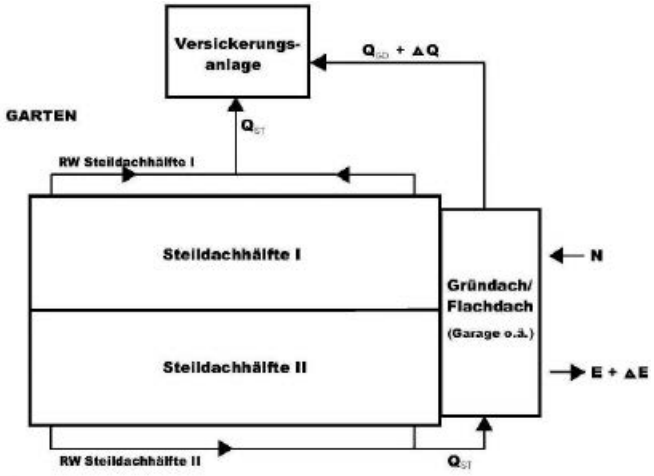
- **Steildachfläche I:** A_I = 41 m²; Abfluss über Wirbelfeinfilter zur Regenwassernutzungsanlage mit Inhaltsmessung (RW-Tank)
- **Steildachfläche II:** A_{II} = 25 m²; Abfluss wie I
- **Steildachfläche III:** A_{III} = 32 m²; Abfluss wahlweise zum Kanalnetz oder auf Gründachfläche
- **Steildachfläche IV:** A_{IV} = 34 m²; Abfluss in Regentonne/Messbehälter (Volumen V = 200 l); Nutzung für Gartenbewässerung oder ähnlich; Überlauf zum Kanalnetz
- **Gründachfläche**: A_{GD} = 22 m²; extensiv begrüntes Flachdach (System Hydrotex); Aufbauhöhe 15 cm; Abfluss in Regentonne/Messbehälter (500 l); Nutzung für Gartenbewässerung oder ähnlich; Behälterüberlauf zum Mulden-Rigolen-System
- **Regenwassernutzungsanlage:** 1500-Liter-Tank [entsprechend 23 l/(m² Dachfläche)]; Speisung von zwei WC (von insgesamt drei), Waschmaschine und Außenzapfstelle; Tanküberlauf zum Mulden-Rigolen-System
- **Mulden-Rigolen-System**: Versickerungsanlage, bestehend aus einer ca. 25 cm tiefen Mulde mit knapp 1 m³ Inhalt und darunter liegender Rigole (V_{brutto} ca. 8 m³)
- **Niederschlagsregistrierung:** Niederschlagsschreiber mit Wippensystem (ab 2011 Wägesystem); Aufzeichnung auf EDV-Datensammler und Bandschreiber; Summenkontrolle über Impulszähler und Sammelbehälter sowie durch separaten Niederschlagsmesser auf dem Gründach.

Höchste Priorität bei den Messungen hatte die kontinuierliche Aufzeichnung des Niederschlags, weshalb hierzu mehrfache Kontrollmöglichkeiten vorhanden waren. Dagegen hätte eine kontinuierliche Registrierung der Abflüsse an den drei Schnittstellen im System einen unverhältnismäßig hohen finanziellen und wartungstechnischen Aufwand bedeutet. Deshalb wurden die Abflüsse indirekt durch relativ einfache Ablesungen der Behälterinhalte bestimmt, was in der Regel täglich und ereignisbezogen erfolgte. Aufgrund des begrenzten Messbehälterinhalts unterhalb des Gründachs von 500 Liter war unvermeidbar, dass es bei größeren Ereignissen zu dessen Überlauf kam, wodurch natürlich nur ein Teil dieses Volumens erfasst wurde. Dabei wurde davon ausgegangen, dass so in Kauf genommene Aufzeichnungslücken mittels des kontinuierlich gemessenen Niederschlags später durch Simulation geschlossen werden können. Voraussetzung dafür waren natürlich ausreichend erfasste Einzelereignisse, um entsprechende Modellparameter daran kalibrieren zu können.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf dem hydrologischen Verhalten des Gründachs, dessen Vegetation ursprünglich aus aufgebrachten Sedumsprossen bestand und anschließend weitgehend der natürlichen Sukzession überlassen wurde. Bereits nach ein bis zwei Jahren hatte sich eine Gras- und Krautvegetation etabliert (Abbildung 3 und 5). Die etwa jährliche Kontrolle beschränkt sich auf die gelegentliche Unterbindung eines unerwünschten Gehölzaufwuchses.

Seit 2014 erfolgt eine Zusammenarbeit mit der italienischen Partneruniversität Salerno, da in Italien noch wenige Erfahrungen zu dieser Problematik vorliegen. Aufgrund spektakulärer Sturzflutereignisse besteht dort jedoch ein großer Bedarf an abflussmindernden Maßnahmen.

Abb. 3: Gründach nach knapp 31 mm Niederschlag in ca. 3 Tagen (rechts im Bild der Zufluss vom Steildach)



Q_{ST}: Abfluss Steildach; Q_{GD}: Abfluss Gründach; N: Niederschlag; E: Verdunstung (von N)

ΔE: Zusätzliche Verdunstung durch Zusatzangebot Q_{ST}; $\Delta Q = Q_{ST} - \Delta E$

Abb. 4: Anschluss des Regenwasserablaufs der zur Straße gewandten Steildachhälfte II eines Einzelhauses an eine rückwärtige Versickerungsanlage über ein seitliches Gründach

Abb. 5: Zustand des Gründachs am 23. Juni 2017 nach langer, regenarmer Periode. Siehe zum Vergleich die Färbung der Rasenfläche im Hintergrund (rechts im Bild der Zufluss vom Steildach)

2.2 Detailuntersuchungen zur Regenwasserüberleitung über ein Gründach

Ein praktisches Problem bei den eingangs erwähnten Abkopplungsmaßnahmen (von der Kanalisation) in Bestandsgebieten liegt oft darin, dass zwar die von der Straße abgewandten Dachteile (Steildachhälfte I gemäß Abbildung 4) höhenmäßig an Versickerungsvorrichtungen in rückwärtig gelegenen Gärten oder sonstigen Grünflächen anschließbar sind. Dagegen ist es häufig schwierig, das auf den zur Straßenseite hin geneigten Dachteilen anfallende Regenwasser mit vertretbarem Aufwand solchen Versickerungsanlagen zuzuführen. Typischerweise verfügen aber viele Ein- und Zweifamilienhäuser über einen seitlichen Garagen- oder Carportanbau mit Flachdach. Hier bietet sich die Möglichkeit, das Regenwasser des in der Regel höher gelegenen Steildachs über solch ein (dann begrüntes) Flachdach auf die Gebäuderückseite und damit einer Versickerung zuzuführen, womit sich unter anderem die genannten Vorteile hinsichtlich der natürlichen Wasserbilanz ergeben. Für die Bemessung der Versickerungsanlage stellt sich unter solchen Bedingungen dann die Frage, inwieweit eine Reduktion des von den zusätzlichen Steildachflächen stammenden Regenwassers (Q_{ST} bzw. ΔQ gemäß Abbildung 4) durch Verdunstung (ΔE) auf dem Gründach in Rechnung gestellt werden kann.

3 Erkenntnisse und Ergebnisse

3.1 Untersuchungsverlauf und praktische Erkenntnisse

Bereits in einem frühen Untersuchungsstadium stellte sich heraus, dass der Regenwassertank im Betrieb häufig leer fiel. Dies war aufgrund seines relativ geringen Volumens von 23 l/m² angeschlossener Dachfläche nicht überraschend, werden nach DIN 1989 [4] doch 25 bis 50 l/m² empfohlen. Die deshalb ursprünglich vorgehaltene, bautechnische Option auf eine Verdopplung des Volumens wurde aufgrund der nachfolgend erläuterten Probleme nicht umgesetzt. Zunächst zeigte sich durch die laufende Entnahme von Wasser aus dem unteren

Tankbereich eine Verstopfung des Mikrosiebs im Zulauf zur Waschmaschine, da auf dem Behälterboden abgelagerte Partikel mitangesaugt wurden. Diese stammten meist von Vogelkot und Moosbewuchs auf den (nicht versiegelten) Betonsteinen der Dachabdeckung. Der am Vereinigungspunkt der beiden Regenfallrohre eingebaute Wirbelfeinfilter (Abbildung 1) erwies sich nämlich hydraulisch als wenig effektiv und wird mittlerweile in dieser Form auch generell nicht mehr empfohlen. Ein weiteres hiermit verbundenes Problem war der periodisch auftretende Faulungsgeruch im genutzten Regenwasser, der sich aufgrund des biologischen Abbaus der genannten Partikel im Regenwassertank einstellte.

Hieraus wurden folgende praktische Konsequenzen gezogen. Zunächst wurde bereits gut ein Jahr nach Inbetriebnahme der Regenwassernutzungsanlage die Waschmaschine wegen der Verstopfungsprobleme von der Anlage abgeklemmt und von da an aus dem öffentlichen Netz gespeist. Auch eine ebenfalls vorhandene Außenzapfstelle wurde praktisch nie genutzt. Ferner wurde 2009 der Regenwassernutzungstank komplett von den Steildachflächen abgeklemmt, da das Problem der Geruchsbelästigungen trotz zeitweiser Schwefelzugabe nicht in den Griff zu bekommen war. Stattdessen wurde der Überlauf des Gründachs bzw. von dessen nachgeschaltetem Messbehälter direkt an den Regenwassertank angeschlossen. Ein Überlauf in die Versickerungsanlage erfolgte von nun an nur noch bei vollem Regenwassertank.

Einige Effekte wurden erst nach Abschluss der Messungen deutlich. So hat sich unter anderem die alleinige Speisung des Regenwassertanks in jeder Hinsicht bewährt, das heißt, ein Gründach kann aus Sicht der Wasserqualität als (unter diesen Randbedingungen) bester „Filter“ empfohlen werden. Auch in mengenmäßiger Hinsicht erwies sich die Kombination von Gründach (22 m² Fläche) und daran angeschlossener Steildachfläche III (32 m²) als nahezu ideale Kombination, da der 1500 Liter große Regenwassertank seitdem nur noch relativ selten trockenfiel oder überlief. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Zahl der Nutzer in der Zwischenzeit von vier auf zwei verringert hat.

Der Anschluss der Steildachfläche erwies sich auch für die Vegetation des Gründachs als großer Vorteil. So offenbarte diese zum Beispiel im Vergleich zur natürlichen Vegetation während der anhaltenden, regenarmen Periode im Frühjahr und Frühsommer 2017 kaum Probleme. Der zusätzliche Steildachzufluss während der wenigen, überwiegend geringfügigen Regenereignisse reichte offenbar aus, um das Gründach mit genügend Wasser zu versorgen (Abbildung 5). Somit lässt sich resumieren, dass sich der Steildachanschluss bei Starkregen hinsichtlich Wasserrückhalt und in regenarmen Perioden hinsichtlich zusätzlicher Wasserversorgung bewährt hat.

3.2 Quantitative Ergebnisse

3.2.1 Allgemeines

Im Rahmen studentischer Abschlussarbeiten wurde der grundsätzliche Nachweis erbracht, dass die Einhaltung der natürlichen Wasserbilanz mittels den zuvor genannten Einzelkomponenten (unter fiktiver Variation ihrer Größenverhältnisse) näherungsweise möglich ist. Dieser Nachweis konnte natürlich nur mittels eines einfachen Simulationsprogramms erfolgen, das anhand der vorliegenden Messreihen kalibriert worden war. Entsprechend diesen Messwerten wurde grundsätzlich ein Zeitschritt von einem Tag verwendet.

Ein Detailergebnis war die mittlere Trinkwassereinsparung durch die Regenwassernutzungsanlage, deren Höhe für den Zeitraum von 1998 bis 2001 zu 20 l/(E·d) ermittelt wurde. Bei dem geringen Wert ist zu berücksichtigen, dass (wie zuvor erläutert) der Tankinhalt relativ gering ist und nur zwei von drei WCs damit gespeist wurden. Während dieses Zeitraums wurde das Haus durchgehend von einer vierköpfigen Familie bewohnt bzw. die Anlage genutzt. Durch die spätere schrittweise Reduzierung der Personenzahl von vier auf zwei waren die weiteren Verbrauchswerte nur noch bedingt untereinander vergleichbar.

Der Benetzungsverlust wurde zu 0,4 mm für das Steildach durch Betrachtung der größten Niederschlagsereignisse ermittelt, die auf der (zuvor abgetrockneten) Steildachfläche gerade noch keinen Abfluss lieferten.

3.2.2 Niederschlag-Abfluss-Simulation

Da die Simulation des Regenwasserzuflusses von Dachflächen in eine Regenwassernutzungsanlage in der Regel keine größeren Probleme bereitet, wurde der Schwerpunkt der Untersuchungen auf die Abflussmodellierung des Gründachs gelegt. Hierzu wurde die Komplexität der Berechnungsansätze zwar schrittweise gesteigert, jedoch erfolgte grundsätzlich eine tägliche Bilanzierung des Gründachinhalts V unter Verwendung der Wasserbilanzgleichung in ihrer einfachsten Form:

$$V_t' = V_{t-1} + h_{Nt} - E_t \quad \text{[mm]} \tag{1}$$

$$\text{für } V_t' < 0 \rightarrow V_t = 0 \text{ und } Q_t = 0$$

$$\text{für } V_t' \leq W_{max} \rightarrow V_t = V_t' \text{ und } Q_t = 0$$

$$\text{für } V_t' > W_{max} \rightarrow V_t = W_{max} \text{ und } Q_t = V_t' - W_{max}$$

mit

V_t: gespeichertes Regenwasservolumen im Gründach am Tag t
h_{Nt}: Niederschlagshöhe am Tag t
E_t: Verdunstungshöhe am Tag t
Q_t: Abfluss vom Gründach am Tag t
W_{max}: maximal im Gründach und auf der Vegetationsoberfläche (Interzeption) speicherbares Wasservolumen in [mm]

Nur bei Überschreitung des Parameters W_{max}, das heißt des maximal im Gründach und auf der Vegetationsoberfläche speicherbaren Wasservolumens, erfolgte also rechnerisch Abfluss bzw. Überlauf Q.

Dabei stellte sich relativ schnell heraus, dass die Berechnung der Verdunstung die entscheidendste Einzelkomponente darstellt, da sie über die Bodenfeuchte bzw. Wasseraufnahmekapazität zu Ereignisbeginn entscheidet. Der große Einfluss der meteorologischen Vorgeschichte eines Ereignisses wird auch von [5] und [6] betont.

Im einfachsten Fall wurde die potenzielle Verdunstungshöhe mit der Beziehung nach Brandt [7] ermittelt:

$$E_P = 1{,}4 \sin\left(\frac{2\pi}{365}(j - 91)\right) + 1{,}8 \quad \text{[mm/d]} \tag{2}$$

mit j: Tag des Jahres (1. Januar: j = 1)

MESSTECHNIK FÜR DIE WASSERWIRTSCHAFT

Ereignisprotokollierung einfach!

Messdatenerfassung - Datenübertragung - Berechnung und Protokollierung das komplette System aus einer Hand

Als ein weltweit führender Entwickler, Produzent und Lieferant für Messtechnik in der Wasserwirtschaft bietet Ihnen NIVUS Gerätekomponenten, die eine kostengünstige und sichere Messdatenerfassung und Protokollierung ermöglichen. Sie möchten mehr über die Messtechnik am Regenüberlaufbecken erfahren? Den passenden Prospekt können Sie unter **www.nivus.de** herunterladen. Gerne schicken wir Ihnen ein gedrucktes Exemplar zu oder wir beraten Sie auch gerne direkt zur Messtechnik an Regenüberlaufbecken - rufen Sie uns an. **Telefon: 07262 9191-0**

NIVUS GmbH • Im Täle 2 • 75031 Eppingen • www.nivus.de
Tel.: +49(0)7262 9191-0 • Fax: +49(0)7262 9191-999 • info@nivus.com

M E S S T E C H N I K F Ü R D I E W A S S E R W I R T S C H A F T

Messtechnik

- Messung von Beckeneinstau, Klärüberlauf und Beckenüberlauf
- direkter Anschluss der Sensoren an die Datenübertragung
- Füllstandsmessung durch Ultraschall oder Druck

Datenübertragung

- sichere GPRS Übertragung
- providerungebundene automatische Netzwahl
- kein Stromanschluss erforderlich

Protokollierung

- gemäß Verordnungen in den Bundesländern (EKVO, SüwVO)
- keine zusätzliche Software erforderlich
- Ereignisberichtsvorlagen gemäß A128, M 207 und M 260 nach DWA

Mehr Infos finden Sie unter www.nivus.de
oder rufen Sie uns einfach an und vereinbaren einen Beratungstermin.

Telefon: +49(0)7262 9191-0

NIVUS GmbH • Im Täle 2 • 75031 Eppingen • www.nivus.de
Tel.: +49(0)7262 9191-0 • Fax: +49(0)7262 9191-999 • info@nivus.com

Hiermit wird also nicht die tatsächliche, sondern die Verdunstung bestimmt, mit der im langjährigen Mittel am Tag j des Jahres zu rechnen ist. Die zugehörigen Werte schwanken zwischen 0,4 und 3,2 mm/d.

Eine Verbesserung erfolgte durch die Bestimmung der Verdunstungswerte nach dem Ansatz von Haude [8]:

$$E_P = f \cdot (e_S - e) = f \cdot e_S\,(1 - RF) \qquad [mm/d] \qquad (3)$$

mit

$(e_S - e)$: Sättigungsdefizit der Luft zum Mittagstermin um 14:30 Uhr [hPa]
RF: relative Luftfeuchte zum Mittagstermin
f: Haude-Faktor. Werte zwischen 0,22 (Oktober bis März) und 0,29 (April/Mai)

So wurden die tagesaktuellen, meteorologischen Klimadaten Luftfeuchte und Lufttemperatur (zur Ermittlung des Sättigungsdampfdrucks e_s) für die Berechnung verwendet, wodurch wirklichkeitsnähere Verdunstungswerte erwartet wurden. Diese Hoffnung erfüllte sich leider nicht. Bereits bei Verwendung der (leicht zugänglichen) Tagesmittelwerte der ortsnahen Wetterstation Brauneberg/Mosel [9] fiel auf, dass der Ansatz nach Haude zu unplausibel niedrigen Verdunstungswerten für das Gründach führte, das heißt nur zu etwa 50 % derjenigen nach Gl. (2) mit 657 mm/a. Daraufhin wurden die Verdunstungswerte nach dem von der Food and Agriculture Organization der UNO empfohlenen, weitgehend physikalisch basierten Verfahren nach Penman [8] zu Vergleichszwecken herangezogen, die für die Station Brauneberg allerdings nur für die vier Jahre von 2009 bis 2012 vorlagen. Dabei zeigte sich, dass auch die relativ aufwendige Beschaffung der Tagesmaxima der Temperaturen sowie der 14:00-Uhr-Werte von Temperatur und Luftfeuchte keine wesentlichen Verbesserungen beim Haude-Verfahren bringt. Die Verwendung dieser Werte in verschiedenen Kombinationen führte zu mittleren jährlichen Abweichungen zwischen rund – 30 und + 25 %. Diese liegen zwar größenordnungsmäßig im vom [8] genannten Bereich von – 20 bis + 40 % für 19 untersuchte deutsche Stationen, verfehlen aber deutlich den zugehörigen Mittelwert von + 8 %.

In der Konsequenz wurden im Weiteren ausschließlich Verdunstungswerten nach Penman verwendet, wodurch allerdings aufgrund der Datenverfügbarkeit der Simulationszeitraum auf die vier (vollständigen) Jahre von 2009 bis 2012 eingeschränkt wurde.

Bei allen zuvor beschriebenen Untersuchungen wurde die potenzielle gleich der realen Verdunstung gesetzt, sofern der im Gründach theoretisch vorhandene Wasservorrat zu deren Deckung ausreichte. Für die weitereren Untersuchungen wurde die Bilanzierung in Anlehnung an [10] dadurch verbessert, dass die reale Verdunstung in Abhängigkeit vom aktuellen Wassergehalt V wie folgt bestimmt wurde:

$$E_a = E_P \cdot V / W_{max} \qquad [mm/d] \qquad (4)$$

Hierdurch soll berücksichtigt werden, dass die Pflanzen bei abnehmendem Wassergehalt im Boden ihre Transpiration drosseln und nur noch bei Wassersättigung ($V = W_{max}$) die reale der potenziellen Verdunstung entspricht.

Um den Umfang dieser Ausführungen in Grenzen zu halten, wird im Folgenden nur auf Ergebnisse eingegangen, die mit dem wie zuletzt beschriebenen Ansatz zur Verdunstungsberechnung [Penman in Verbindung mit Gl. (4)] gewonnen wurden. Zudem wird hinsichtlich weiterer Details und Jahresganglinien auf [11] verwiesen.

Für die Kalibrierung des Wasserspeichervermögens W_{max} des Gründachs wurden insgesamt 20 Ereignisse verwendet, für welche die Messwerte besonders zuverlässig erschienen. So kamen naturgemäß nur relativ kleine Ereignisse in Frage, die zu keinem Überlauf des 500 Liter beinhaltenden Messbehälters unterhalb des Gründachs geführt hatten. Als vorteilhaft kann dabei angesehen werden, dass so die Untergrenze an Ereignisklassen analysiert wurde, die erstmalig das Gründach zum Überlauf bringen. In einer ersten Phase wurden zehn Ereignisse aus der knapp vierjährigen Periode verwendet, bei der kein Steildach an das Gründach angeschlossen war. Damit ergab sich dessen Speichervermögen zu $W_{max} = 39$ mm. Für die Periode mit Steildachanschluss wurden zehn weitere Ereignisse ausgewählt und unter Berücksichtigung des gemessenen Benetzungsverlustes von 0,4 mm nachgerechnet. Da der W_{max}-Wert von 39 mm für das Gründach unverändert beibehalten wurde, kann diese zweite Kalibrierungsphase mit dem zusätzlichen Niederschlagswasser vom Steildach auch im weitesten Sinne als Verifizierung angesehen werden. Im Mittel lagen die Abweichungen zwischen Messung und Rechnung zwar für beide Systemzustände nahe Null, jedoch wurden einige Ereignisse nur sehr schlecht wiedergegeben. Zudem liegt der kalibrierte W_{max}-Wert von 39 mm etwas unter der von [12] angegebenen Spanne von rund 46 bis 75 mm (3,1 bis 5 l/m² und cm Schichtdicke).

Insgesamt bleibt also festzuhalten, dass die Modellanpassung nicht sonderlich befriedigend ist und dass hierzu noch weiterer Forschungsbedarf besteht. Dies ist aber keineswegs nur auf die verwendeten, relativ einfachen Berechnungsansätze zurückzuführen. Auch mit anspruchsvolleren Modellen, wie mit SWMM (Stormwater Management Model) ergaben sich bei der Simulation des Abflussverhaltens von Gründächern laut einer Abschlussarbeit an der Fachhochschule Münster deutliche Schwierigkeiten.

Mit dem so angepassten Modell ergab sich für die vier Jahre von 2009 bis 2012 aus der mittleren Jahresniederschlagshöhe von 704,9 mm eine mittlere Abflusshöhe von 304,1 mm und folglich ein mittlerer Jahresabflussbeiwert von 304,1/704,9 = 0,431. Dieser passt immerhin auffallend gut zu dem Wert von 0,423, der nach folgender empirischen Formel aus [2] ermittelt wurde (nach Druckfehlerkorrektur in dortiger Formel!):

$$\alpha_F = -2{,}182 + 0{,}4293 \cdot LN(h_N) - 0{,}0001092 \cdot h_N + \frac{236{,}1}{E_P} + 0{,}0001142 \cdot h + 0{,}0002297 \cdot k_f + 0{,}01628 \cdot LN(WK_{max} - WP) - 0{,}1214 \cdot LN((WK_{max} - WP) \cdot h) \qquad (5)$$

mit

h_N: mittlere Jahresniederschlagshöhe (= 704,9 mm)
E_p: Mittlere Jahresverdunstung (= 641 mm)
h: Aufbauhöhe des Gründachs (= 150 mm)
k_f: Wasserdurchlässigkeit (= 70 mm/h laut Empfehlung aus [13])

WK_{max} – WP: Differenz zwischen maximaler Wasserkapazität und Welkepunkt (= 0,5 laut Empfehlung aus [13])

3.2.3 Regenwasserüberleitung über das Gründach

Auch diese Teiluntersuchung wurde für die vier Jahre von 2009 bis 2012 durchgeführt. Ohne Steildachanschluss werden vom mittleren Jahresniederschlag in Höhe von 704,9 mm laut Modell real 400,8 mm verdunstet. Im Mittel ergab die Langzeitsimulation mit dem Benetzungsverlust von 0,4 mm für das Steildach eine zusätzliche Belastung des Gründachs durch diesen Zufluss von Q_{ST} = 931,3 mm/a (Abbildung 4). Hierfür ermittelte das Modell eine reale Mehrverdunstung von ΔE = 76,5 mm/a. Bezogen auf den zusätzlichen Regenwasserzufluss vom Steildach ergibt sich also eine relative Mehrverdunstung von ΔE = 76,5/931,3 = 8,2 %.

Danach wird also bei der Regenwasserüberleitung von einem Steildach über ein Gründach im Jahresmittel rund ΔE = 8 % dieses zusätzlichen Wasserangebots verdunstet und somit in gleichem Maß eine nachgeschaltete Versickerungsanlage entlastet. Ohne weitere Untersuchungen (zum Beispiel zu Einzelereignissen) sollte dieser ohnehin relativ geringe Wert bei der hydraulischen Bemessung einer Versickerungseinrichtung nicht in Rechnung gestellt werden. Allerdings wird hierdurch die herkömmliche Bemessung mit zusätzlichen Sicherheiten versehen.

4 Ausblick

Derzeit werden die genannten Datenreihen intensiv von der italienischen Partneruniversität Salerno genutzt. Dabei wurde ein Näherungsverfahren für Planungszwecke entwickelt, das mit rein meteorologischen Daten die hydrologische Leistungsfähigkeit eines Gründachs prognostiziert. Die dazu erforderliche reale Verdunstung wird nach einem empirischen Verfahren bestimmt, das die standortbezogene potenzielle Verdunstung sowie den aktuellen Niederschlag und die Vorregengeschichte benötigt. Das konstruktionsbedingte maximale Wasserspeichervermögen des Gründachs wird gleich dem aktuellen Wasserinhalt des Vortages gesetzt und damit als variable Größe verwendet, was aufgrund einer straffen Korrelation zulässig erscheint. Da es sich um ein neu entwickeltes, empirisches Verfahren handelt, das bisher lediglich am Fallbeispiel Lieser abgesichert ist, wird hier auf eine detaillierte Wiedergabe verzichtet und stattdessen auf [14] verwiesen. Es beinhaltet sicherlich ein großes Potenzial, dessen Weiterentwicklung unter Hinzuziehung weiterer Messreihen unterschiedlicher Gründachkonstruktionen und Klimabedingungen lohnend erscheint. Unter anderem dazu wurde im Frühjahr 2017 auch auf dem Campus in Salerno ein experimenteller Gründach-Versuchsstand mit zwei verschiedenen Testbeeten eingerichtet.

Literatur

[1] Arbeitsblatt DWA-A 100: *Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung*, Hennef, 2006

[2] Arbeitsblatt DWA-A 102, inhaltsgleich mit dem Merkblatt 3 des Bundes der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK): *Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer*, Entwurf, 2016

[3] Sartor, J.: Ist die Regenwasserversickerung von bebauten Flächen wirklich naturnah? *Wasser und Abfall* 2002, Heft 7–8

[4] DIN 1989: *Regenwassernutzungsanlagen*, Berlin, 2002

[5] Uhl, M.; Schiedt, L.; Henneberg, M.; Mann, G.: Langzeitstudie zum Abflussverhalten begrünter Dächer, *Wasser und Boden* 2003, Heft 3

[6] Scherer, I.; Henrichs, M.; Uhl, M.; Schuetz, T.; Weiler, M.; Hackenbroch, K.; König, F.; Freytag, T.: Planungsinstrumente und Bewirtschaftungskonzepte für den Wasserhaushalt in Siedlungen, *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2017, Heft 4

[7] Merkblatt ATV-DVWK-M 165: *Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung*, Hennef, 2003

[8] DVWK-Merkblatt 238: *Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen*, Bonn, 1996

[9] Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz, Wetterstation Brauneberg, Daten frei verfügbar unter *www.am.rlp.de*

[10] Ostrowski, M. W.: *Ein Beitrag zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz*, Mitteilung Nr. 42 des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen, 1982

[11] Sartor, J.: *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung*, Schlussbericht zum gleichnamigen Forschungsvorhaben, kann beim Autor angefordert werden, Hochschule Trier, 2018

[12] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL): *Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen*, Bonn, 2008

[13] Uhl, M.: *Die Stadt als hydrologisches System im Wandel – Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts*, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben SAMUWA, Münster, 2017

[14] Mobilia, M.; Longobardi, A.; Sartor, J.: *Including a-priori assessment of actual evapotranspiration for green roof daily scale hydrological modelling*, MDPI water, Basel, Schweiz, 2017

Autor

Prof. Dr.-Ing. Joachim Sartor
Hochschule Trier
Fachbereich BLV
Schneidershof, 54293 Trier

E-Mail: J.Sartor@Hochschule-Trier.de

65. Jahrgang · Nr. 9 · September 2018 · 10889

DWA
Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

Korrespondenz Abwasser · Abfall

9|18

dwadialog berlin2018

DWA-Dialog Berlin
Seite 753

Regenwasser, urbane Sturzfluten, Klimawandel
Seite 760, 770

Fachplaner Starkregenvorsorge
Seite 763

Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung
Seite 776

Schwingendes Redoxpotenzial
Seite 786

Schadstoffe aus kommunalen Kläranlagen
Seite 793

Kunststoffe in kommunalen Kläranlagen
Seite 800

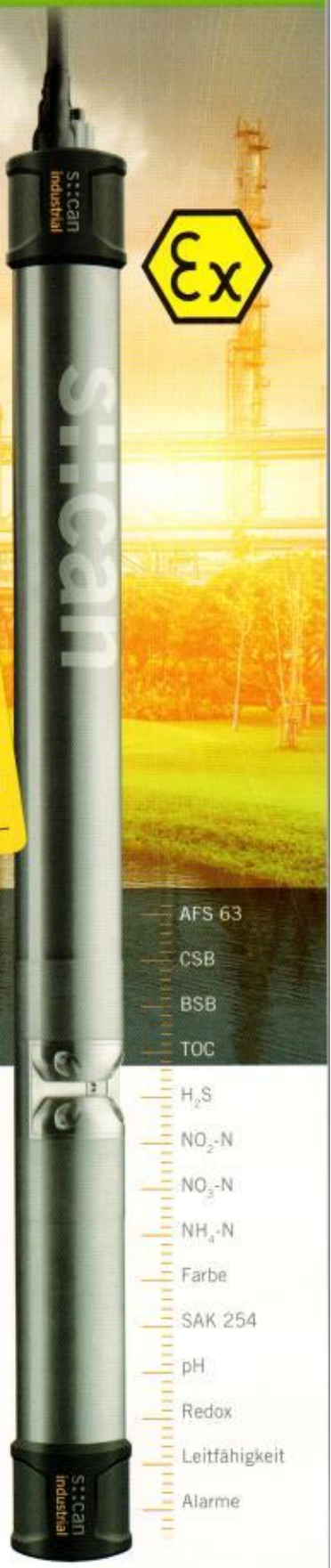
Grundgebührenmodelle für Schmutzwasser
Seite 808

Online Wasser Analytik

Anwendungsbericht in dieser Ausgabe

Beleg exemplar
Bitte beachten Sie Seite 776

Multi-Parameter-Sonde
in ATEX für Industrie, Kanal und Kläranlage



Extrem robuste, ATEX zertifizierte Spektrometersonde.

» Vielfältig einsetzbar für die Messung der Wasserqualität in Kanal, Zulauf, Belebung, 4. Reinigungsstufe, Ablauf von Kläranlagen und in Industrien wie z.B. Brauereien, Molkereien und Papierindustrie.

» Optimal geeignet zur Qualitätssicherung und zum Monitoring von AFS und CSB in industriellem Abwasser.

» Ideal für die Echtzeit-Überwachung und für Abschlagsmessungen im Kanal.

s::can Intelligent. Optical. Online.
Hersteller: sales@s-can.at www.s-can.at

GWU
Vertrieb/Service: s-can@gwu-group.de www.wasser.gwu-group.de