

# Zurück zum Ursprung – Bewertung von Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen zur Annäherung an die natürliche Wasserbilanz

Johannes Leimgruber, Gerald Krebs, David B. Steffelbauer, Dirk Muschalla

Technische Universität Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und  
Landschaftswasserbau, Graz

**Kurzfassung:** Niederschlagsbewirtschaftungsmaßnahmen (NWB-Maßnahmen) können eingesetzt werden, um die nachteiligen Auswirkungen der Urbanisierung auf die Wasserbilanz, wie einen Anstieg des Abflusses und Rückgang der Evapotranspiration und Grundwasseranreicherung, abzumildern. In diesem Beitrag wird eine Methodik zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von NWB-Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf eine angestrebte Annäherung an die natürliche Wasserbilanz vorgestellt. Es wird hierbei ein ganzheitlicher Ansatz, welcher die gesamte Wasserbilanz berücksichtigt, gewählt. Die Bewertungen erfolgen zudem auf Regenereignisbasis, um Auswertungen der Leistungsfähigkeit von NWB-Maßnahmen hinsichtlich Regenereignischarakteristiken zu ermöglichen. Die Methodik kann herangezogen werden, um eine geeignete NWB-Maßnahme oder Kombination von NWB-Maßnahmen zur Annäherung an die natürliche Wasserbilanz zu finden.

**Key-Words:** Hydrologische Modellierung; Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen; Wasserbilanz

## 1 Einleitung

Die fortschreitende Urbanisierung führt zu einer erhöhten Versiegelung von vormals natürlichen Oberflächen. Die Wasserbilanz wird dadurch deutlich beeinflusst: Der Abfluss nimmt zu, während Evapotranspiration (ET) und Grundwasseranreicherung abnehmen. Daraus resultieren verschiedene negative Auswirkungen wie hohe Abflussvolumina und Abflussspitzen, Gefahr von urbanen Überflutungen, „urban heat islands“ (UHI), usw. (Shuster et al., 2005; Fletcher et al., 2013).

Naturnahe Niederschlagswasserbewirtschaftungs-Maßnahmen (NWB-Maßnahmen) können die negativen Auswirkungen der Urbanisierung verringern. Es ist hierbei das

Ziel, das natürliche hydrologische Regime wiederherzustellen bzw. sich diesem möglichst anzunähern (US EPA, 2000; Eckart et al., 2017).

Um die Leistungsfähigkeit von NWB-Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf eine angestrebte Annäherung an die natürliche Wasserbilanz zu beurteilen, sind die hydrologischen Verhältnisse im natürlichen und im bebauten Zustand zu analysieren. Meist wird hierbei nur die Abflusskomponente der Wasserbilanz berücksichtigt. Evapotranspiration und Grundwasseranreicherung (bzw. Speicheränderung) werden vernachlässigt, obwohl sie eine bedeutende Rolle beispielsweise bezüglich des UHI-Effekts spielen (ET) und eine künstlich erhöhte Grundwasseranreicherung ebenso problematisch sein kann (z. B. Kellervernässungen, Hangrutschungen, etc.) (Goebel et al., 2007; Fletcher et al., 2013).

Der vorliegende Beitrag verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz (wie beispielsweise auch in WABILA - (Henrichs et al., 2016)), welcher alle Komponenten der Wasserbilanz berücksichtigt, um die Leistungsfähigkeit von NWB-Maßnahmen zu beurteilen. Im Gegensatz zu vorgenanntem Ansatz in WABILA wird die Wasserbilanz für einzelne Regenereignisse innerhalb des Niederschlagskontinuums ermittelt und analysiert. Die Grundlage hierfür bilden jedoch Langzeitsimulationen (mit gemessenen Niederschlagskontinua). Somit wird auch die Vorgeschichte (Anfangsbedingungen) eines jeden Regenereignisses berücksichtigt. Die Analyse einzelner Regenereignisse lässt eine Differenzierung nach Regencharakteristika wie Regensumme, Regendauer und vorangehender Trockenzeiten zu. Die Bewertung der Leistungsfähigkeit einzelner NWB-Maßnahmen oder Kombinationen daraus kann somit in Abhängigkeit dieser Regencharakteristika erfolgen. Insbesondere bei Untersuchungen zu Klimawandelszenarien ist dies in weiterer Folge hilfreich.

## 2 Methodik

Der natürliche Zustand muss als Zielzustand bzw. Leitbild fallspezifisch definiert werden. In weiterer Folge wird nichtsdestotrotz der Begriff „natürlich“ verwendet.

Im ersten Schritt der Untersuchungen mithilfe der entwickelten Methodik wurde ein Testmodell herangezogen, welches ein typisches Grundstück mit einem Einfamilienhaus und angrenzender Rasenfläche darstellt. Als einen möglichen natürlichen Zielzustand bzw. Leitbild wurde die Fläche als komplett unbebaut und bewaldet modelliert (siehe Abbildung 1).

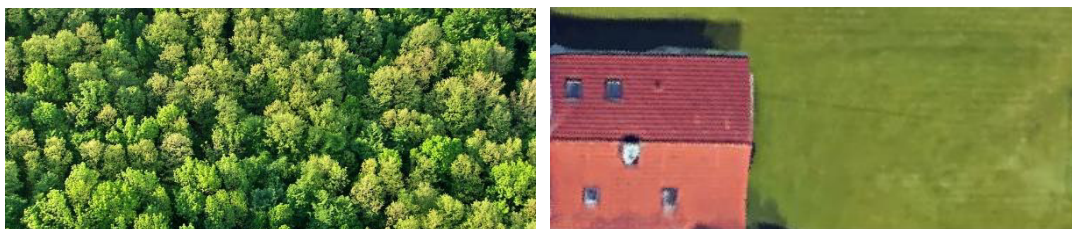


Abbildung 1: Testmodell Zielzustand - natürlich (links), Testmodell bebaut (rechts)

Für den bebauten Zustand wurden die in Tabelle 1 dargestellten zehn verschiedenen Szenarien von NWB-Maßnahmen betrachtet.

Tabelle 1: Überblick über die Szenarien der NWB-Maßnahmen im bebauten Zustand

Szenario	Abflussquelle		Aufnehmendes Element 1		Aufnehmendes Element 2
S1	Gedecktes Dach	→	Kanalisation		
S2	Gedecktes Dach	→	Regentonne	→	Rasen (Bewässerung und Entlastung)
S3	Gedecktes Dach	→	Rasen		
S4	Gedecktes Dach	→	Versickerungsgraben (ohne Drainage)	→	Kanalisation (Entlastung)
S5	Gedecktes Dach	→	Versickerungsgraben (mit Drainage)	→	Kanalisation
S6	Gedecktes Dach	→	Versickerungsmulde	→	Kanalisation
S7	Gedecktes Dach	→	Versickerungsmulde	→	Rasen
S8	Gründach	→	Kanalisation		
S9	Gründach	→	Regentonne	→	Rasen (Bewässerung und Entlastung)
S10	Gründach	→	Rasen		

Der eventuell auftretende Abfluss vom Rasen wird jeweils in die Kanalisation geleitet. Für die Szenarien 8-10 wurde ein Gründach anstelle eines mit Dachziegeln gedeckten Daches modelliert.

Um die unterschiedlichen Szenarien zu beurteilen, wurden die Langzeitsimulationen einerseits für den natürlichen (unbebauten) sowie für den bebauten Zustand durchgeführt und im Nachgang für jedes Regenereignis jeweils die Wasserbilanz ermittelt. Für erste Betrachtungen wurde ein Niederschlagskontinuum von einem Jahr (bereitgestellt durch (OEWA, 2007)) herangezogen. Für die Simulationen wurde das Stormwater Management Model - SWMM (Rossman, 2015) verwendet. NWB-Maßnahmen werden hierbei mit einem Bodenfeuchtemodell simuliert, wobei die Prozesse des Abflusses, der Infiltration sowie der Evapotranspiration berücksichtigt werden. Die NWB-Maßnahmen bestehen hierbei aus unterschiedlichen Schichten (Layern), wobei je nach Art der NWB-Maßnahme eine entsprechend passende Kombination an Layern gewählt wird. Abbildung 2 zeigt beispielhaft das Grundkonzept des Aufbaus einer NWB-Maßnahme in SWMM mit den bei der Simulation berücksichtigten Prozessen.

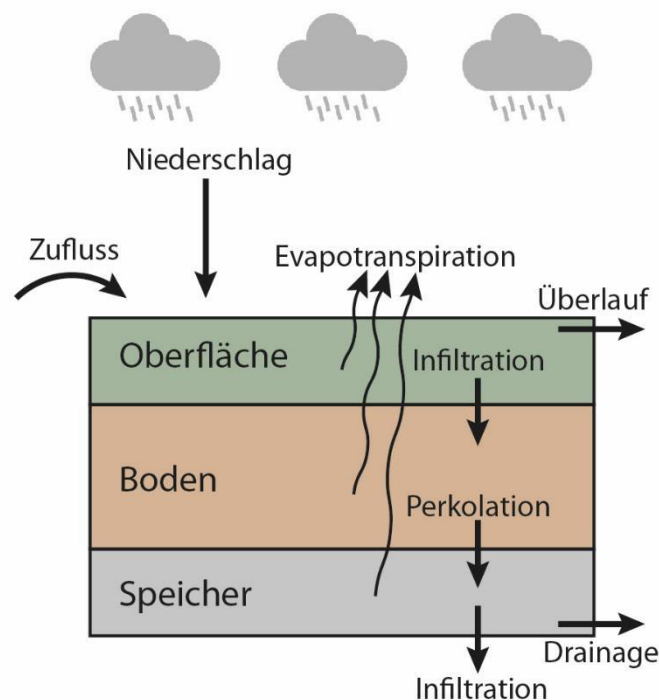


Abbildung 2: Layerkonzept zur Wasserbilanzierung von NWB-Maßnahmen in SWMM

Durch die Wasserbilanzierung der verschiedenen NWB-Maßnahmen sowie der weiteren Modellflächen kann folglich die Gesamtwasserbilanz für das betrachtete Einzugsgebiet in der folgenden Form ausgedrückt werden:

$$\frac{dS}{dt} = P - ET - R$$

(P... Precipitation/Niederschlag, R... Runoff/Abfluss, ET... Evapotranspiration,  $\frac{dS}{dt}$ ... Speicheränderung)

Die Speicheränderung umfasst hierbei sowohl die Grundwasseranreicherung als auch beispielsweise Änderungen in der Bodenfeuchte, im Muldenspeicher und Speicher der NWB-Maßnahmen.

Die Wasserbilanzkomponenten wurden für jedes Szenario und Regenereignis ermittelt und mit dem jeweiligen Ergebnis der Simulation des natürlichen Zielzustandes verglichen. Dafür wurden die absoluten Differenzen gebildet, um sicherzustellen, dass eine Abweichung von der natürlichen Wasserbilanz unabhängig davon behandelt wird, ob es sich um einen Anstieg oder einen Rückgang handelt. Um das „beste“ Szenario zu finden, wurde jeweils auch eine durchschnittliche Abweichung des bebauten Zustands vom natürlichen Zielzustand über die Regenereignisse ermittelt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Abbildung , Abbildung und Abbildung zeigen exemplarische Resultate der beschriebenen Methodik, wobei das Niederschlagskontinuum eines Jahres (1992) verwendet wurde. Für dieses Jahr wurden 42 Regenereignisse detektiert und simuliert (Lang-

zeitsimulation). Die Abbildungen zeigen beispielhaft den Vergleich des Abflusses (Abbildung 3), der Evapotranspiration (Abbildung 4) sowie der Speicheränderung (Abbildung 5) zwischen dem natürlichen Zielzustand und dem bebauten Zustand für die Szenarien 1, 4 und 8 für jedes Regenereignis.

Es ist offensichtlich, dass das Szenario 1 (gedecktes Dach, keine NWB-Maßnahme) den größten Anteil bezüglich der Abflusskomponente aufweist. Szenario 8 (Gründach) hingegen weist aufgrund der Retention von Niederschlagswasser geringere Abflusswerte auf. Dem natürlichen Zielzustand hinsichtlich des Abflusses am nächsten kommt hingegen Szenario 4 (Versickerungsgraben), da hier der Großteil des Niederschlagswassers versickert und es somit wie auch im natürlichen Zielzustand kaum zu Abfluss kommt.

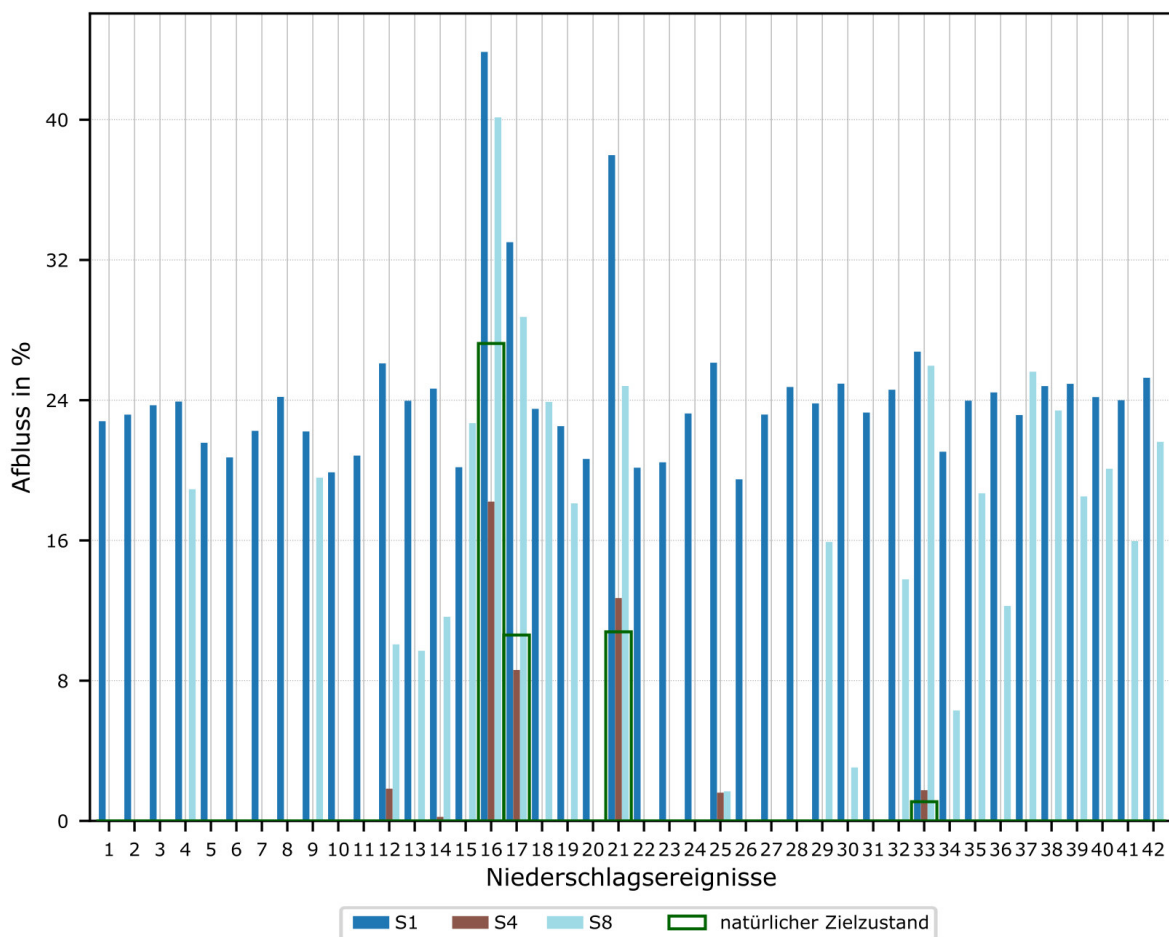


Abbildung 3: Vergleich des Abflusses zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)

Bezüglich der Evapotranspiration zeigt Szenario 8 die naturnächsten Werte auf, während die Werte für Szenario 1 und 4 nahezu identisch sind, da es für die Evapotranspiration nahezu keine Auswirkungen hat, ob der Abfluss über den Graben versickert oder im Kanal abgeführt wird.

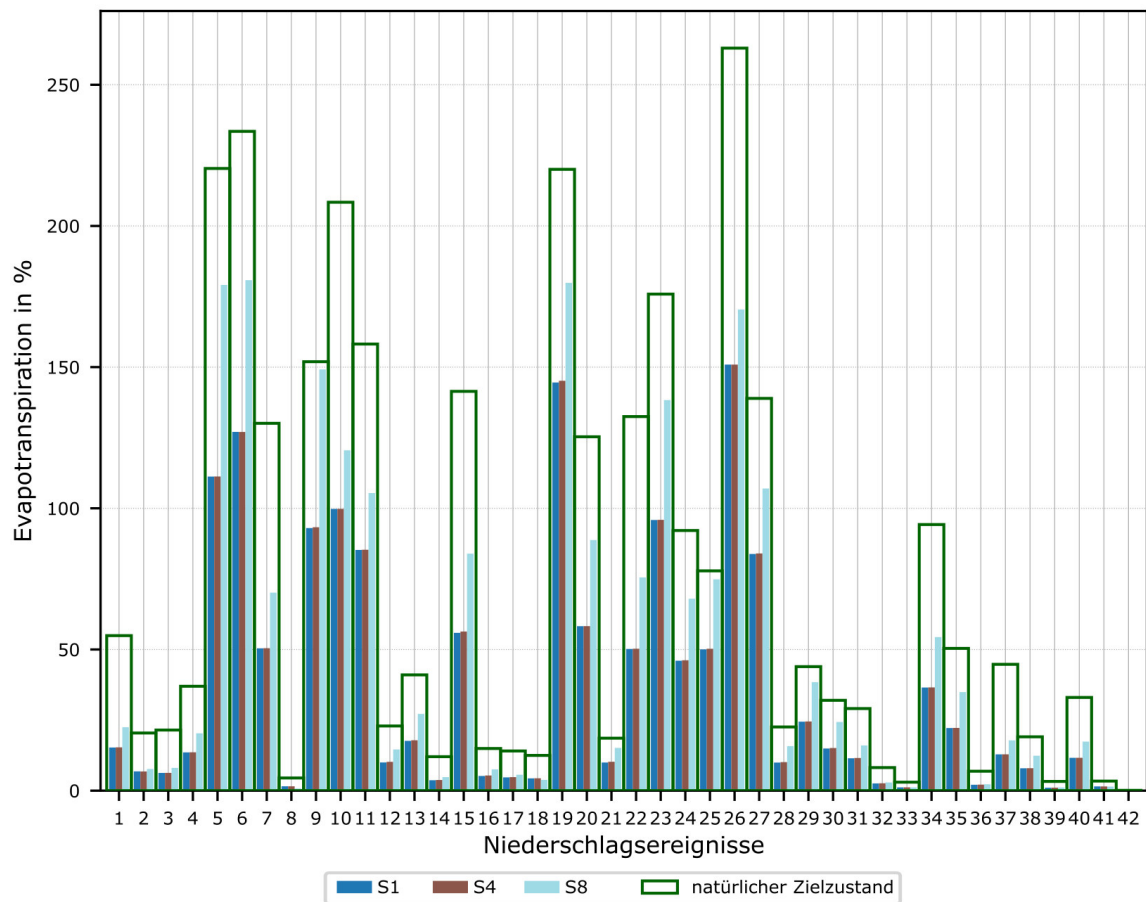


Abbildung 4: Vergleich der Evapotranspiration zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)

Die Speicheränderung bei Szenario 4 übersteigt zum Teil die Werte im natürlichen Zielzustand. Dies lässt beispielsweise auf eine zu hohe künstliche Grundwasseranreicherung schließen.

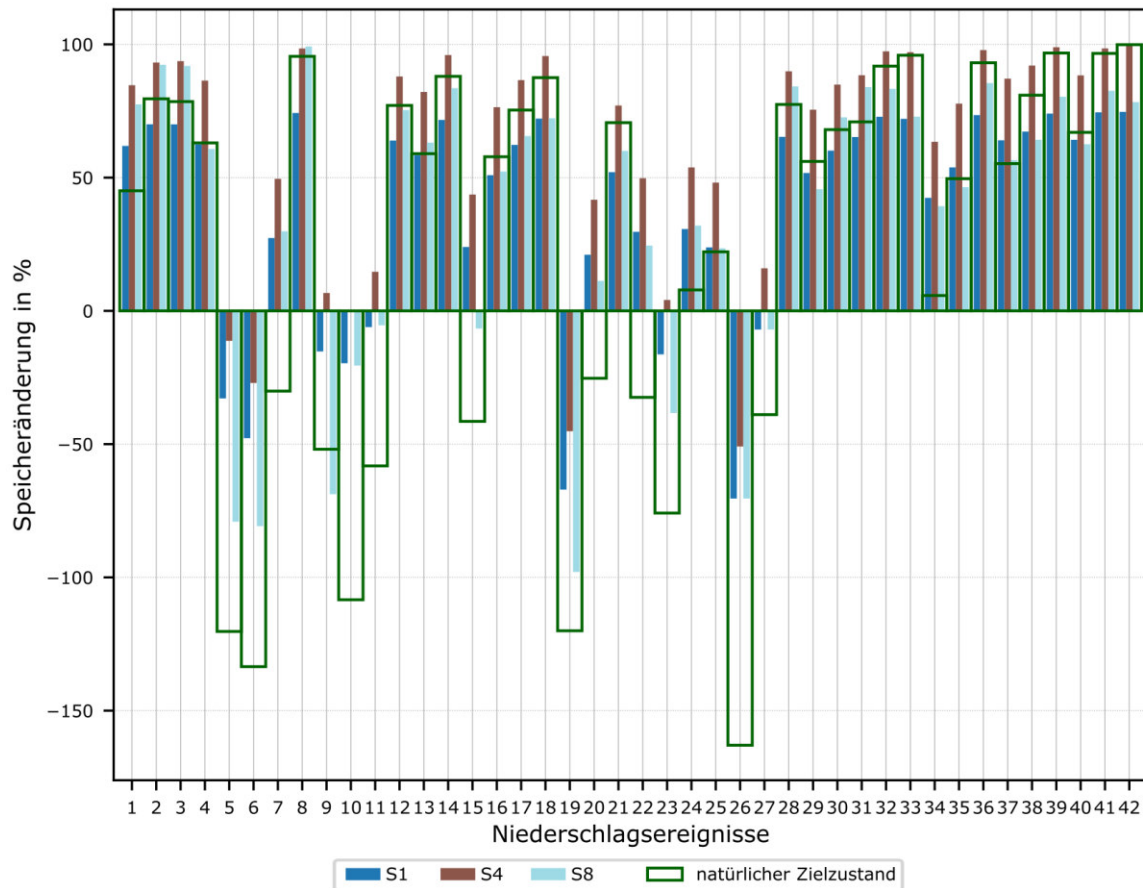


Abbildung 5: Vergleich der Speicheränderung zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die Verschiebungen der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zielzustand für die Szenarien 1 und 8. Die Erkenntnisse sind analog zu jenen aus Abbildung 3 bis Abbildung 5.

Szenario 1 weist einen deutlich höheren Abfluss auf als der natürliche Zielzustand, während die Evapotranspiration deutlich reduziert ist.

Szenario 8 hingegen kommt dem natürlichen Zielzustand hinsichtlich des Abflusses sowie der Evapotranspiration deutlich näher.

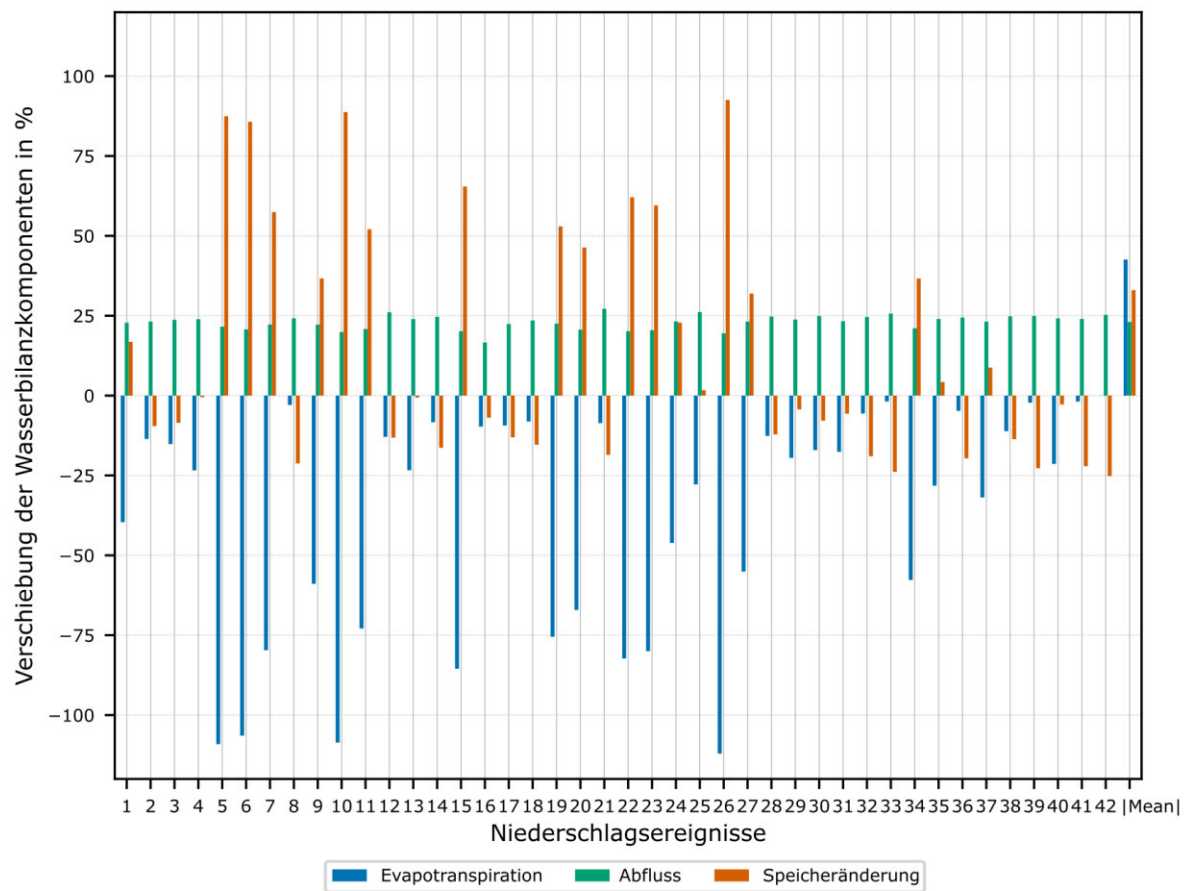


Abbildung 6: Verschiebung der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand für Szenario 1



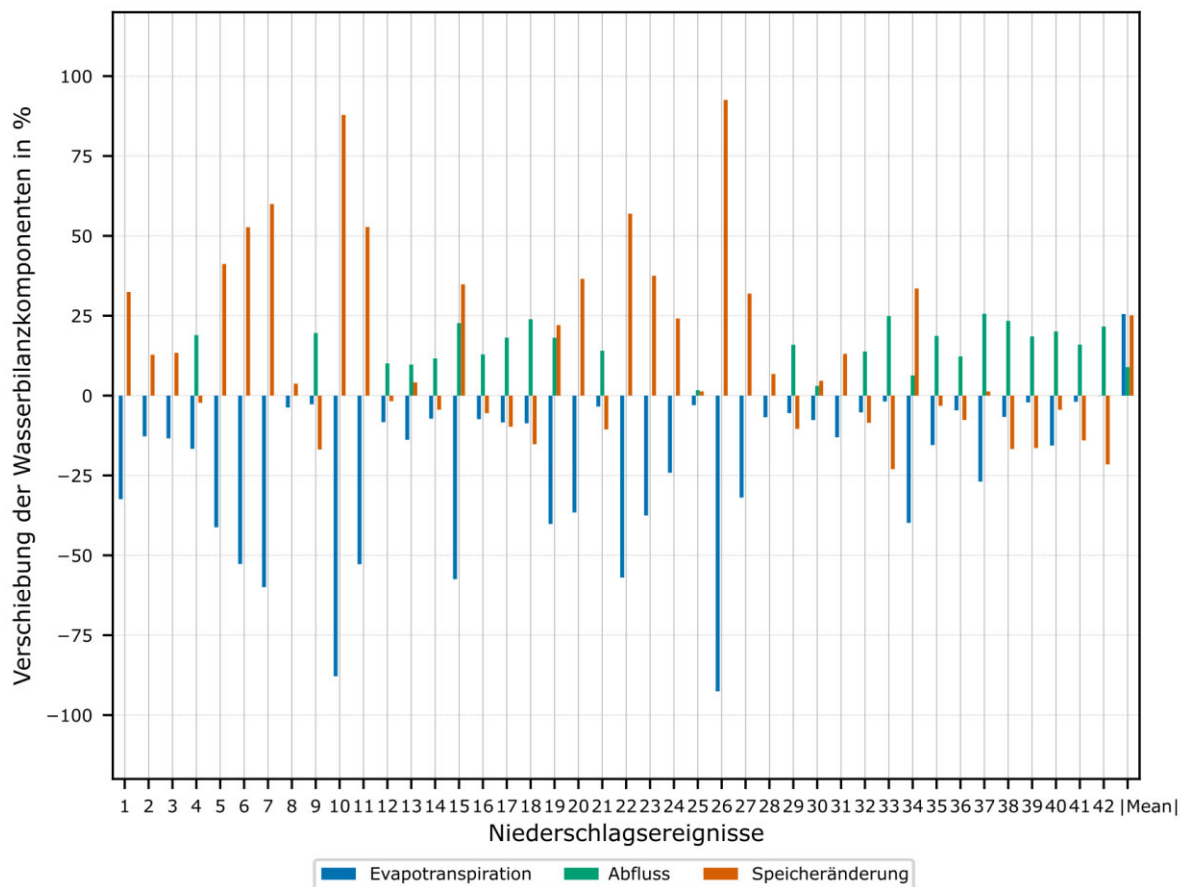


Abbildung 7: Verschiebung der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand für Szenario 8

Abbildung 8 zeigt den Mittelwert über alle Regenereignisse der absoluten Abweichungen der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand für alle betrachteten Szenarien. Es ist offensichtlich, dass Szenario 1, 5 und 8 die naturfernsten Abflusswerte aufweisen. Alle anderen Szenarien sind sehr nahe am natürlichen Abflussverhalten, da Regenwasser in diesen Fällen zur Versickerung gebracht wird. Hinsichtlich der Evapotranspiration lässt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Szenarien 1-7 und den Szenarien 8-10 (mit Gründach) erkennen. Durch das Gründach nähert sich die Evapotranspirationskomponente dem natürlichen Zielzustand an, da Regenwasser im Gründachsubstrat gespeichert werden kann und somit zur Verdunstung zur Verfügung steht. Insgesamt kommen die Szenarien 9 und 10 dem natürlichen Zielzustand am nächsten.

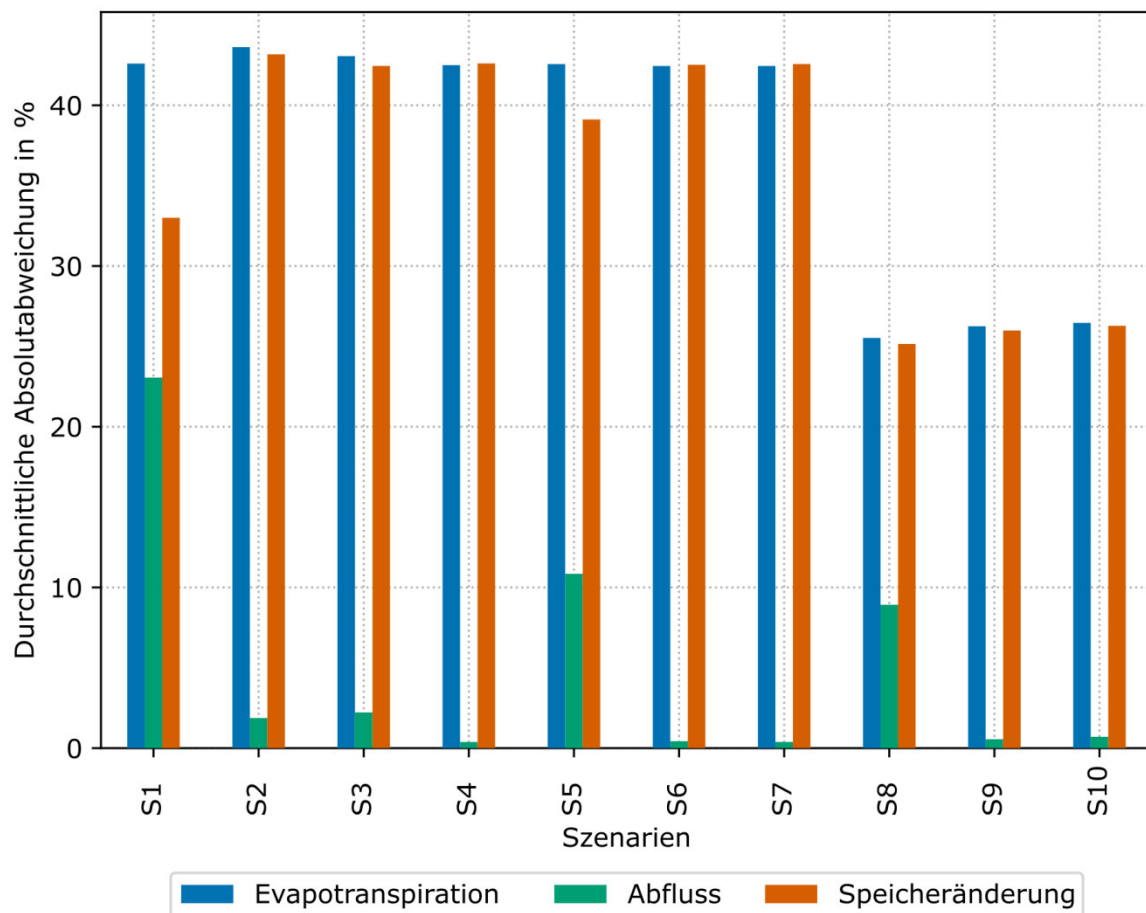


Abbildung 8: Durchschnittliche absolute Abweichungen der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die entwickelte Methode kann dazu genutzt werden, die Leistungsfähigkeit einzelner NWB-Maßnahmen oder von NWB-Maßnahmen-Kombinationen zu bewerten. Somit kann einerseits die Struktur einzelner NWB-Maßnahmen ebenso wie die Kombination von NWB-Maßnahmen in einem Einzugsgebiet optimiert werden, um einen natürlichen Zielzustand zu erreichen.

Die Ergebnisse des Testmodells zeigen, dass NWB-Maßnahmen gerade hinsichtlich der Abflusskomponente sehr nahe an einen natürlichen Zielzustand führen können. Dies erfolgt einerseits durch Speicherung und Evapotranspiration von Niederschlagswasser und andererseits auch durch Versickerung/Grundwasseranreicherung. Gründächer erweisen sich besonders wirkungsvoll, um die Evapotranspirationskomponente näher an einen natürlichen Zielzustand zu führen. Niederschlagswasser wird hierbei im Gründachsubstrat gespeichert und steht somit auch nach dem Regenereignis für die Evapotranspiration zur Verfügung.

Bezüglich der Speicheränderung bzw. Infiltration/Grundwasseranreicherung konnte gezeigt werden, dass mit NWB-Maßnahmen auch durchaus der natürliche Zielzustand übertroffen werden kann.

Die Auswertungen einzelner Regenereignisse innerhalb des Niederschlagskontinuums lassen zudem in weiterer Folge Analysen der Leistungsfähigkeit von NWB-Maßnahmen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Regencharakteristika (z. B. Dauer, Trockenzeiten, Niederschlagssumme) zu.

Im nächsten Schritt werden außerdem Lebenszykluskosten sowie Robustheitsbetrachtungen bezüglich sich zukünftig möglicherweise ändernder Randbedingungen (Klimawandel, demografischer Wandel, usw.) in die Betrachtungen miteinbezogen.

## 5 Literatur

Eckart K., McPhee Z., & Bolisetti T. (2017) Performance and implementation of low impact development – A review. *Science of The Total Environment*, **607**(Supplement C), 413–432.

Fletcher T. D., Andrieu H., & Hamel P. (2013) Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, **51**, 261–279.

Goebel P., Dierkes C., & Coldewey W. G. (2007) Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology*, **91**(1–2), 26–42.

Henrichs M., Langner J., & Uhl M. (2016) Development of a simplified urban water balance model (WABILA). *Water Science and Technology*, **73**(8), 1785–1795.

OEWAV (2007) *ÖWAV - Leitfaden - Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19 (OEWAV-Guideline - Precipitation data for the application of ÖWAV-Guideline 11 and 19)*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.

Rossman L. (2015) *Storm Water Management Model - User's Manual Version 5.1*.

Shuster W. D., Bonta J., Thurston H., Warnemuende E., & Smith D. R. (2005) Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, **2**(4), 263–275.

US EPA (2000) *Low Impact Development (LID) - A Literature Review*, US EPA Office of Water (4203), Washington, DC, USA.

**Korrespondenz an:**

Johannes Leimgruber  
Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau | TU Graz  
Stremayrgasse 10/I  
Tel.: +433168738387  
Fax: +433168738376  
E-Mail: leimgruber@tugraz.at