

Entwicklung eines Bilanzmodells für den urbanen Niederschlagswasserhaushalt

Malte Henrichs¹⁾, Julian Langner¹⁾ und Mathias Uhl¹⁾

¹⁾ Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU), Fachhochschule Münster, Corrensstraße 25, 48149 Münster, henrichs@fh-muenster.de; julian.langner@fh-muenster.de; uhl@fh-muenster.de

Kurzfassung

Der Beitrag stellt ein einfaches Bilanzmodell für den lokalen Wasserhaushalt im Siedlungsbereich vor, mit dessen Hilfe langjährige Wasserbilanzen von Baugebieten erstellt werden können. Das Wasserbilanzmodell bildet die Aufteilung des mittleren Jahresniederschlags im Planungsgebiet in die Hauptkomponenten Direktabfluss, Versickerung und Verdunstung ab. Der Referenzzustand im unbebauten Gebiet kann aus örtlichen Daten des Wasserhaushaltes oder mit Hilfe des Hydrologischen Atlas von Deutschland ermittelt werden. Das Wasserbilanzmodell ist als Planungstool im Rahmen der Bauleitplanung konzipiert. Mit geringem Aufwand lassen sich standortgerechte Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung konzipieren, um die Zielvorstellungen zum lokalen Wasserhaushalt bestmöglich umzusetzen.

Veranlassung und Zielsetzung

In Siedlungsgebieten ist der Wasserhaushalt im Vergleich zum unbebauten Zustand erheblich verändert. Der Oberflächenabfluss ist erhöht und die Grundwasserneubildung sowie die Verdunstung sind verringert. Die Folgen betreffen das hydrologische Regime, die Morphologie und die Ökologie stadtnaher Gewässer, das Grundwasser im Siedlungsbereich sowie das Stadtklima. Im Arbeitsblatt „Leitlinien der Integralen Siedlungsentwässerung“ (DWA-A 100 [2006]) wird die möglichst geringe Beeinträchtigung des lokalen Wasserhaushaltes als übergeordnete Zielsetzung formuliert. Das derzeit im Entwurf befindliche Arbeitsblatt A 102 wird daher den Wasserhaushalt als neue Nachweisgröße enthalten. Hierfür wurde von den Autoren ein einfaches Bilanzmodell für den lokalen Niederschlagswasserhaushalt entwickelt.

Das Wasserbilanzmodell bildet die Aufteilung des mittleren Jahresniederschlags im Planungsgebiet in die Hauptkomponenten Abfluss (a), Versickerung bzw. Grundwasserneubildung (g) und Verdunstung (v) ab. Für alle wesentlichen Flächenarten und Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung werden Aufteilungsbeiwerte und Systemfunktionen entwickelt. Das Modell ermöglicht eine Auswahl standortgerechter Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung, um den lokal unterschiedlichen Erfordernissen des Wasserhaushaltes nahezukommen. Mit überschaubarem Arbeitsaufwand und Datenbedarf unterstützt es im Rahmen der Bauleitplanung Entscheidungsprozesse zur Regenwasserbewirtschaftung.

Im Gegensatz zu bisher verfügbaren Bilanzierungstools ermöglicht das vereinfachte Wasserbilanzmodell eine realitätsgerechtere Abbildung des lokalen Wasserhaushaltes, da standortspezifische klimatische Eingangsdaten berücksichtigt werden können.

Methoden

Für die Ermittlung der Aufteilungsfunktionen für unterschiedliche Flächen und Bewirtschaftungsanlagen wurden Zeitreihen von 40 über das Bundesgebiet verteilten Niederschlagsstationen (505 bis 1692 mm/a) mit einer Länge zwischen 6 und 20 Jahren repräsentativ ausgewählt. Aus den Klimadaten nahegelegener Stationen des DWD wurde die zugehörige potentielle Evapotranspiration (FAO-Grasreferenzverdunstung) verwendet (461 bis 752 mm/a). Die klimatische Wasserbilanz an den 40 Standorten betrug zwischen -247 mm/a und 1185 mm/a (vgl. Abbildung 1).

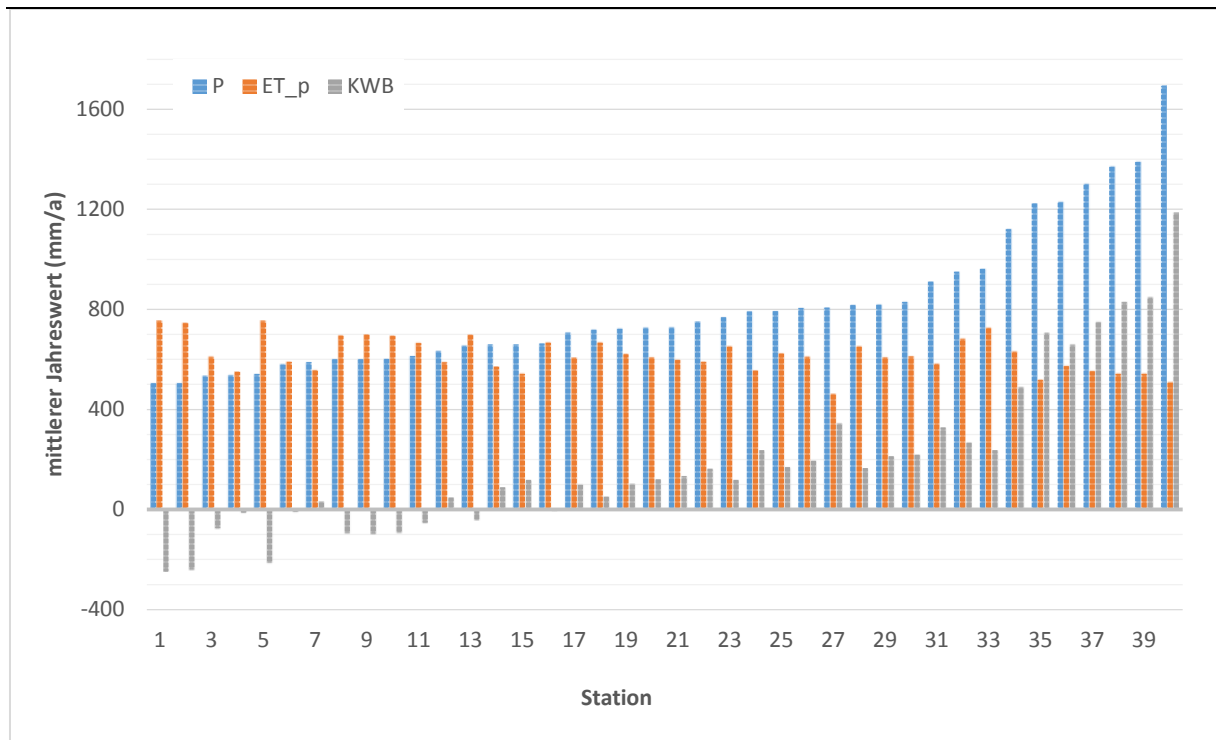


Abbildung 1: Niederschlags- und Verdunstungshöhen sowie klimatische Wasserbilanzen (KWB) der 40 Stationen

Die Flächen und Bewirtschaftungsanlagen wurden mit dem Simulationsmodell „Storm Water Management Model“ der US EPA abgebildet (SWMM, Rossman [2010]). SWMM simuliert den Abflussbildungsprozess auf befestigten Flächen mit einem Speicher und bildet Gründächer und Versickerungsanlagen mittels Bodenfeuchtesimulation ab. Die Niederschlags- und Verdunstungsdaten werden mittels gemessener Zeitreihen berücksichtigt. Für die einzelnen Simulationsmodelle werden in vorgegebenen Wertebereichen für die relevanten Modellparameter jeweils zufällig 1000 Parameterkombinationen mittels Monte-Carlo-Methode oder Latin-Hypercube-Sampling ausgespielt (Helton/Davis [2003]). Anschließend wurden je Fläche oder Bewirtschaftungsanlage 40.000 Simulationen für die Kombination Parameterwerte und Niederschlagsstationen durchgeführt und die Aufteilungsfaktoren a , g und v berechnet. Aus diesem Datenpool wurden die Aufteilungsfunktionen für die Flächen und Bewirtschaftungsanlagen mittels linearer und nichtlinearer multipler Regression bestimmt. Anhand von Literaturangaben erfolgte eine Validierung bzw. Plausibilitätsprüfung der Berechnungsergebnisse.

Vereinfachtes Wasserbilanzmodell

Die grundlegende Idee des Wasserbilanzmodells ist es, mit geringem Datenaufwand den frühen Planungsprozess hinsichtlich der Einhaltung der lokalen Wasserbilanz zu unterstützen.

Das Modell bietet Systemgleichungen für die in Tabelle 1 aufgelisteten Flächen und Bewirtschaftungsmaßnahmen an. Die Systemfunktionen basieren grundsätzlich auf den sensitiven Parametern der 40.000 SWMM Simulationen. Neben Niederschlag und potentieller Verdunstung werden noch ein bis vier weitere Parameter benötigt. Die mit den beiden Systemfunktionen für ein Gründach und für einen teildurchlässigen Flächenbelag mit einem Fugenanteil von 4 % sind in Abbildung 2 für die 40 Klimastationen (vgl. Abbildung 1) dargestellt. Der Aufteilungsfaktor für den Abfluss des Gründaches schwankt zwischen 0,29 und 0,83. Es zeigt sich eine eindeutige Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe. Die Variation des Aufteilungsfaktors a bei ähnlichen Niederschlägen ist durch den Einfluss der potentiellen Verdunstung zu erklären. Besonders für die drei Stationen mit einer deutlichen negativen klimatischen Wasserbilanz werden die geringsten Aufteilungsfaktoren für den Abfluss berechnet.

Die Aufteilungsfaktoren für die teildurchlässige Fläche weisen geringere Wertespanssen zwischen 0,34 und 0,44 für den Aufteilungsfaktor a , zwischen 0,41 und 0,48 für den Aufteilungsfaktor g sowie zwischen 0,07 und 0,24 für den Aufteilungsfaktor v .

Die Aufteilungsfaktoren der beiden Flächen für die 40 Klimastationen verdeutlichen, dass in Abhängigkeit des Standortes unterschiedliche Maßnahmen für die Regenwasserbewirtschaftung sinnvoll sind. Die Variation des „Referenzzustandes“ anhand des unbebauten Gebietes wird von Uhl et al. [2013] anhand des HAD aufgezeigt.

Tabelle 1: Übersicht über die Parameter der Systemfunktionen für Flächen und Bewirtschaftungsmaßnahmen

Elementtyp	Spezifikation	Aufteilungsfaktoren		
		Direktabfluss	Grundwasserneubildung	Verdunstung
		a	g	v
Dach	Steildach, Flachdach, Kiesdach, Einstaudach	$f(P, ET_p, Sp)$	0	$1-a$
	Gründach	$f(P, ET_p, h, k_f, WK_{max})$	0	$1-a$
Straße, Weg, Platz	Asphalt, Pflaster	$f(P, ET_p, Sp)$	0	$1-a$
	teildurchlässige Beläge	$f(P, ET_p, Sp, FA)$	$f(P, ET_p, Sp, FA, k_f)$	$f(P, ET_p, Sp, FA, k_f, WK_{max})$
Versickerung	Versickerungsfläche	$f(P, BA_S)$	$f(P, ET_p, BA_S)$	$f(P, ET_p, BA_S)$
	Versickerungsmulde	$1-g_A-v_A$	$f(P, ET_p, k_f, BA_{S,M})$	$f(P, ET_p, k_f, BA_{S,M})$
	Mulden-Rigolen-Element	$f(P, k_f, BA_{S,M})$	$f(P, ET_p, k_f, BA_{S,M})$	$f(P, ET_p, k_f, BA_{S,M})$
	Mulden-Rigolen-System	$f(P, ET_p, k_f, BA_{S,M}, q_{dr})$	$f(P, ET_p, k_f, BA_{S,M})$	$f(P, ET_p, k_f, BA_{S,M}, q_{dr})$
Regenwassernutzung	Anlagen für Brauchwasser	$f(P, ET_p, VSp, VBr)$	0	$1-a_A$
	Anlage für Brauchwasser und Bewässerung	$f(P, ET_p, VSp, VBr, VBw)$	0	$f(P, ET_p, VSp, VBr, VBw)$
	Anlagen für Bewässerung	$f(P, ET_p, VSp, VBw)$	0	$1-a_A$

P Niederschlag in mm/a; ET_p potentielle Verdunstung in mm/a; Sp Speicherhöhe in mm; h Aufbauhöhe in mm; k_f Durchlässigkeitsbeiwert in mm/h; WK_{max} max. Wasserkapazität; FA Fugenanteil in %; BA_S relative Größe der Versickerungsfläche in %; $BA_{S,M}$ relative Größe der Muldenfläche in %; q_{dr} Drosselabflussspende in l/(s·ha); VSp spezifische Speichervolumen in mm; VBr spezifische Wasserbedarf für Brauchwasser in mm/d; VBw spezifische Bewässerungsfläche

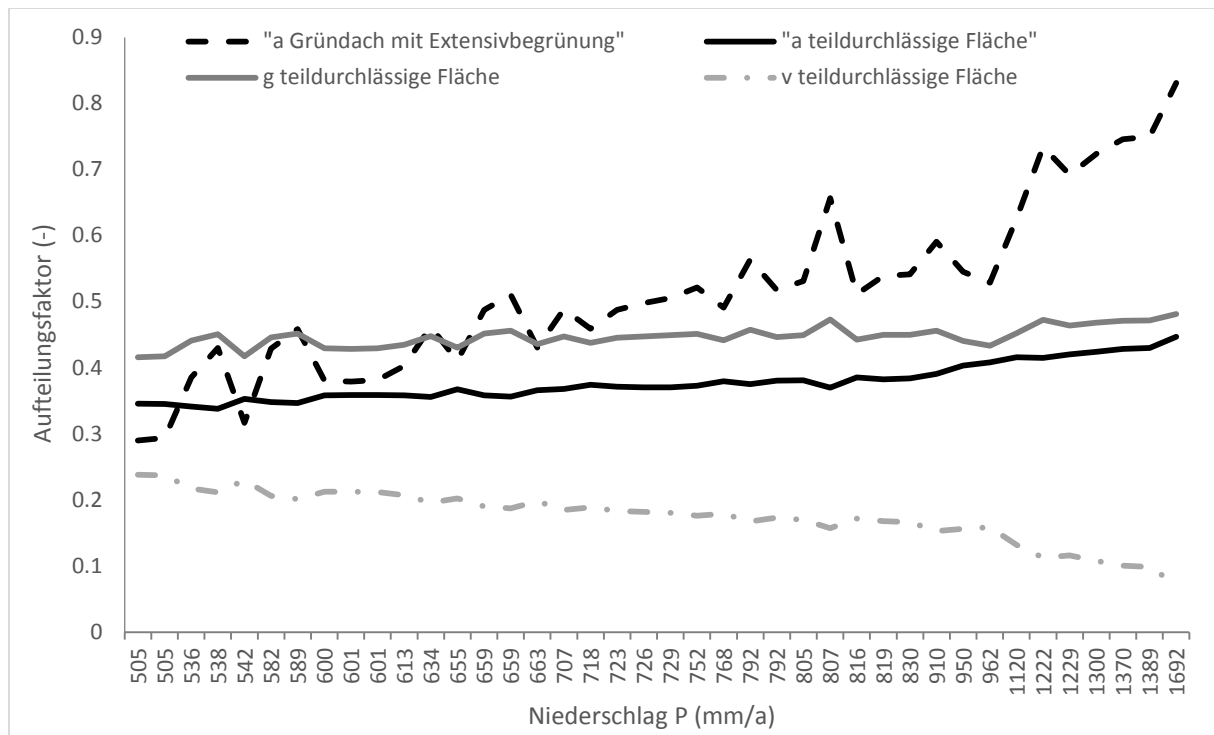


Abbildung 2: Aufteilungsfaktoren für die Flächen Gründach und teildurchlässige Fläche für 40 Klimastationen

Softwaretool WABILA

Die Systemfunktionen des Wasserbilanzmodells wurden zur vereinfachten Anwendung in ein Softwaretool mit grafischer Benutzeroberfläche implementiert. In dem Softwaretool werden die mittlere jährliche Niederschlags- höhe und die mittlere jährliche potentielle Evapotranspiration als klimatische Eingangsdaten benötigt. Die unterschiedlichen Flächentypen eines Baugebietes können zeilenweise eingegeben werden (vgl. Abbildung 2), so dass die Wasserbilanz in Form von Aufteilungsfaktoren für a, g und v berechnet wird.

Auf Basis der Geo-Koordinaten des Planungs- bzw. Siedlungsgebietes können die Werte a, g und v für den unbebauten Zustand aus dem Hydrologischen Atlas Deutschland ermittelt werden. Diese dienen als Referenzzu- stand für die Planung. Durch einen Vergleich der Wasserbilanz des unbebauten mit dem bebauten Zustand kön- nen Defizite im lokalen Wasserhaushalt quantifiziert werden. Durch den Einsatz von Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung erfolgt eine Annäherung der Wasserbilanz des bebauten an den unbebauten Zustand.

Alle Flächen und Maßnahmen sind mit empfohlenen Werten vorparametrisiert (Flächen von Versickerungsanla- gen werden über den k_f -Wert grob abgeschätzt). Diese Parameter können jedoch bei genauerem Kenntnisstand verändert und angepasst werden. Zur Optimierung der Planung kann der Planer verschiedene Planungsvarianten anlegen und vergleichen.

Mit dem Tool WABILA hat der Planer ein einfaches Werkzeug zur Bestimmung des lokalen Wasserhaushalts in Siedlungsgebieten, mit welchen die Wasserbilanz als operable Größe in den Planungsprozess eingebunden wer- den kann.

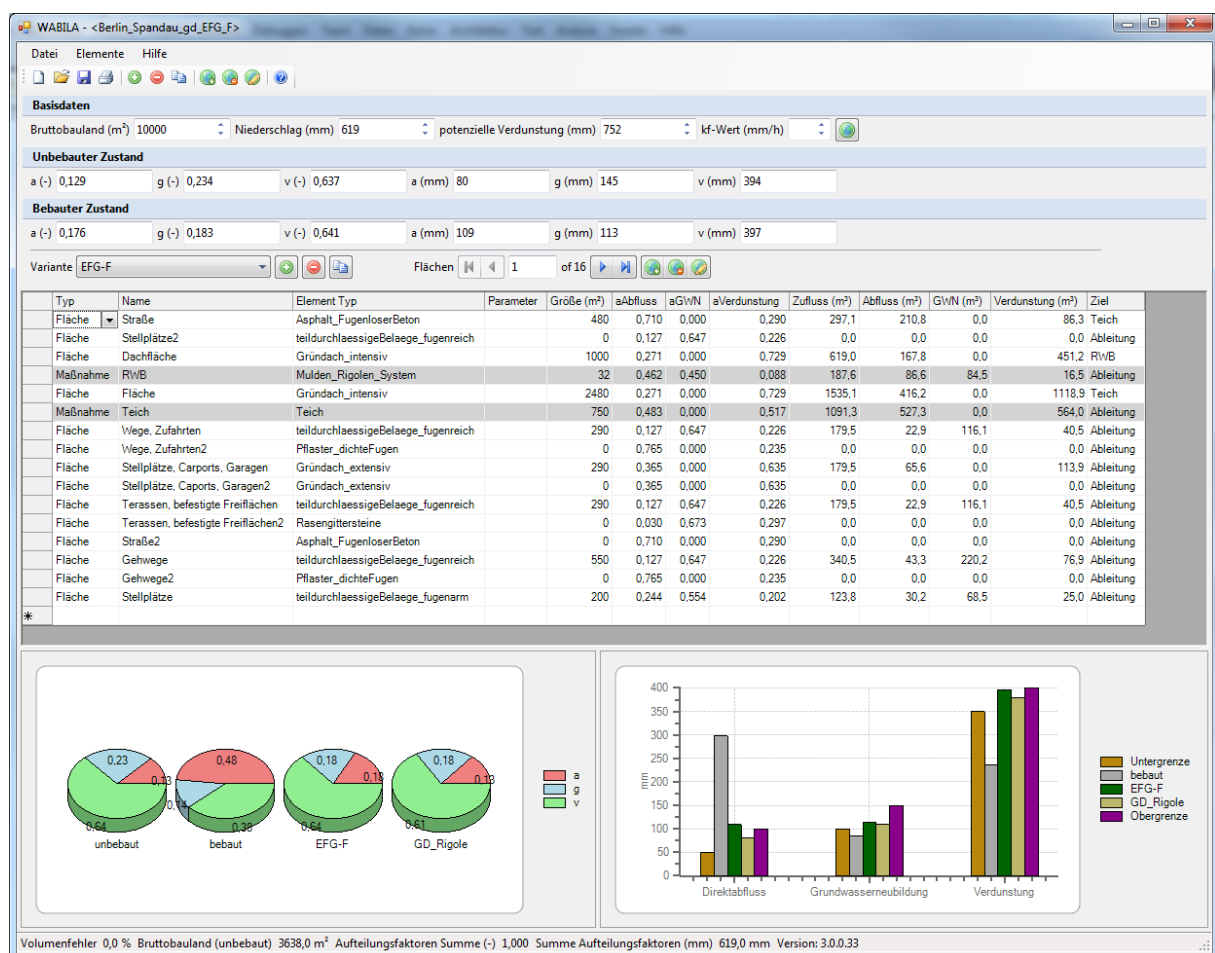


Abbildung 3: Screenshot des Softwaretools WABILA

Zusammenfassung

Das Wasserbilanzmodell ist Bestandteil des in der Bearbeitung befindlichen Arbeitsblattes DWA-A 102. Mit ihm lassen sich standortgerechte Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung auf der räumlichen Ebene von Baugebieten konzipieren, um die Zielvorstellungen zum lokalen Wasserhaushalt bestmöglich umzusetzen. Mit vergleichsweise geringem Aufwand lässt sich der Wasserhaushalt unterschiedlicher Planungsvarianten bestimmen und iterativ eine Vorzugslösung entwickeln.

Anwender werden Fachplaner aus Siedlungswasserwirtschaft, Freiraumplanung und Stadtplanung sein, die bei der Bauleit- und Sanierungsplanung die maßgebenden Entscheidungen zum Konzept der Regenwasserbewirtschaftung zu treffen haben. Die Ergebnisse gehen in die verbindliche Bauleitplanung und Genehmigungsplanung ein. Die Dimensionierung der einzelnen Anlagen erfolgt gemäß dem technischen Regelwerk.

Danksagung

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes „Die Stadt als hydrologisches System im Wandel - Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts (SaMuWa)“ (Förderkennzeichen 033L071J). Dem Mittelgeber wird für die Unterstützung der Arbeiten gedankt.

Literatur

- Helton, J.C. und Davis, F.J. (2003): *Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems*. In: Reliability Engineering and System Safety, 81 (1), S. 23-69.
- Rossman, L.A. (2010): *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. Cincinnati, OH, USA, US EPA - United States Environmental Protection Agency, 285 S.
- Uhl, M., Langner, J. und Henrichs, M. (2013): *Bilanzierung des Wasserhaushaltes in Siedlungen. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft* München: Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag, ISBN 978-3-8356-3208-0, S. 91 - 118.