

Planungsinstrumente für den Wasserhaushalt in Siedlungsgebieten^{*)}

Mathias Uhl und Malte Henrichs (Münster)

Zusammenfassung

In siedlungsgeprägten Gewässern liegen Störungen des Wasserhaushalts und der hydrologischen Dynamik vor, die durch die Flächenversiegelung und die Ableitung der Niederschlagsabflüsse bedingt sind. Sie begründen den Paradigmenwechsel vom Ableitungs- zum Retentionsprinzip bei Planungen der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. Deren Ziel, den natürlichen Wasserhaushalt so gering wie möglich zu beeinträchtigen, wird durch Maßnahmen zur Verdunstung, Versickerung und Verzögerung von Niederschlagsabflüssen anstelle der bisherigen vollständigen und schnellen Ableitung erreicht. Der Beitrag fasst Ergebnisse des BMBF-Verbundvorhabens „Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer“ (WaSiG) zusammen, die wesentlich zur fachgerechten Planung einer Regenwasserbewirtschaftung im Sinne des Retentionsprinzips beitragen.

Schlagwörter: Entwässerungssysteme, Regenwasserbewirtschaftung, Retention, Wasserhaushalt, Hydrologie, Flächenversiegelung, Niederschlagsabfluss

DOI: 10.3242/kae2021.10.003

Abstract

Planning tools for the water balance in residential areas

Impervious surfaces and the discharge of rainwater run-off disrupt the water balance and hydrological dynamics in water bodies in residential areas. This situation is the reason for a change in paradigm away from drainage to retention when planning rainwater management in residential areas. Rainwater evaporation, infiltration and retention and detention are chosen rather than the current practice of rapid and complete discharge to meet the goal of minimising disruption to the natural water regime. This article sums up the findings of the collaborative WaSiG project funded by the German Federal Ministry for Education and Research, which make a substantial contribution towards the proper planning of rainwater management in keeping with the principle of retention.

Key Words: drainage systems, rainwater management, retention, water regime, hydrology, impervious surfaces, rainwater run-off

* leicht überarbeitete Fassung des Beitrags Uhl, M., Henrichs, M.: Planungsinstrumente für den Wasserhaushalt in Siedlungsgebieten, Reihe *Gewässerschutz – Wasser – Abwasser*, Bd. 252, Tagungsband zur Essener Tagung für Wasserwirtschaft, 18.–20. März 2020, Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft e. V. Aachen, S. 58/1–58/13

1 Hintergrund und Veranlassung

Der Wasserhaushalt ist als wesentlicher Bestandteil der Gewässerbewirtschaftung gemäß Wasserhaushaltsgesetz (§§ 5, 27, 47, 55, 57) [1] anzusehen, da er eine Basisgröße des guten

ökologischen Zustands von Gewässern ist. Die Bebauung von Einzugsgebieten ist der umfassendste Eingriff für Gewässer [2]. Er ist geprägt durch die Versiegelung von Flächen, durch häufig erhebliche Eingriffe in die Gewässermorphologie und in die Auen sowie durch die Einleitungen von Abflüssen und Stoffen aus Anlagen der Siedlungsentwässerung. Siedlungsgebiete verändern aufgrund ihrer hohen Flächenversiegelung und die zumeist noch vollständige, schnelle Ableitung der Niederschlagsabflüsse den Wasserhaushalt und die hydrologische Dynamik siedlungsgeprägter Gewässer. Der Direktabfluss ist erheblich erhöht, die Grundwasserneubildung und insbesondere die Verdunstung sind entsprechend reduziert. Die Verdunstung verknüpft den Wasser- und den Energiehaushalt. Ihr Energiebedarf bewirkt eine Temperaturabsenkung der verdunstungswirksamen Flächen. Eine verringerte Verdunstung begünstigt die Temperaturerhöhung in Städten.

Aufgrund dieser Zusammenhänge entwickelte sich über längere Zeit ein Paradigmenwechsel in der Stadtentwässerung vom Ableitungs- zum Retentionsprinzip. Die technischen Regelwerke DWA-A 100 [3] und DWA-A 102 [4] führen den Wasserhaushalt als Planungsgröße ein und fordern, dass der Wasserhaushalt in Neubau- und Sanierungsgebieten annähernd dem Wasserhaushalt der zugehörigen Kulturlandschaft entspricht.

Die vielfältigen Landschaftstypen Deutschlands mit ihren morphologischen, hydrogeologischen und klimatischen Eigenschaften und ihren Kulturlandnutzungen führen zu regional unterschiedlichen Aufteilungen der Wasserhaushaltskomponenten. Die Bewirtschaftung siedlungsgeprägter Gewässer und der Niederschlagsabflüsse in Siedlungen muss sich demnach an den regionalen wasserwirtschaftlichen Verhältnissen orientieren.

Zur Regenwasserbewirtschaftung im Siedlungsraum werden regionale Zielgrößen sowie realitätsnahe meso- und mikroskalige Planungsinstrumente benötigt. Die erforderlichen Maßnahmen und Anlagen zur Bewirtschaftung müssen wirksam, nachhaltig und resilient sein.

2 BMBF-Verbundvorhaben WaSiG

In der BMBF-Fördermaßnahme ReWaM wurde das Verbundprojekt „Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer (WaSiG)“ durchgeführt mit vier Teilthemen:

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 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.

Der integrale Projektansatz führte drei Kommunen, drei Dienstleister aus Planung und Betrieb sowie Forschungspartner aus Natur-, Ingenieur- und Gesellschaftswissenschaften zusammen. Beteiligt waren die Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (Professur für Hydrologie; Professur für Humangeographie), die Landeshauptstadt Hannover (Stadtentwässerung), die Stadt Freiburg (Umweltschutzamt, Fachbereich Wasserwirtschaft und Bodenschutz), die Stadt Münster (Tiefbauamt), die badenova AG & Co. KG, die BIT Ingenieure AG (Freiburg) und die Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH (Hannover) sowie die FH Münster (Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU), der auch die Koordinierung oblag.

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über die Beiträge des Verbundvorhabens WaSiG zur zeitgemäßen Planung einer Regenwasserbewirtschaftung, die den Erfordernissen des Gewässerschutzes und des Stadtklimas entspricht sowie zur weiteren Entwicklung resilienter Städte beiträgt.

3 Betrieb und Wirksamkeit von Bewirtschaftungsmaßnahmen

3.1 Monitoring von Dachbegrünung

Die hydrologischen Prozesse extensiv begrünter Dachaufbauten wurden über etwa zwei Jahre im Realbetrieb kontinuierlich untersucht [5–7]. Die halbtechnische Versuchsanlage (Leo 1–10) bestand aus zehn 3 m² großen Testfeldern mit 3 % Neigung, unterschiedlichen Substraten von 6 cm, 10 cm und 15 cm Aufbauhöhe sowie zugehörigen Dränsystemen marktrelevanter Anbieter (Abbildung 1). Die großtechnische Versuchsanlage (FHZ 1+2) ist ein Hallendach mit zwei gleichen 80 m² großen Dachflächen, deren Substrathöhe 6 cm beträgt.

Das hydrologische Verhalten extensiver Gründächer wird vorrangig vom Wasserspeicher der Substratschicht und der lokalen klimatischen Wasserbilanz geprägt, wie Tabelle 1 exemplarisch zeigt. Der Abflussanteil ist im Sommerhalbjahr mit 22 % bis 36 % gering und stärker von der Substrathöhe abhängig als im Winterhalbjahr mit 62 % bis 68 % (80 %). Die tat-

sächliche Verdunstung entspricht in der Langzeitbilanz näherungsweise der Differenz $h_N - h_A$. Im Sommerhalbjahr beträgt die tatsächliche Verdunstung nur 56 % bis 68 % der potenziellen Verdunstung, bedingt durch mangelndes Wasserdargebot in Trockenphasen. Auch im Winter liegt die tatsächliche Verdunstung bei 73 % bis 89 % der potenziellen Verdunstung, vermutlich auch bedingt durch Trockenphasen. In beiden Halbjahren steigt die tatsächliche Verdunstung mit zunehmender Substrathöhe.

Zeit	Dach	Fläche	Substrathöhe	h_N	ET_p	h_A	h_A/h_N	$(h_N - h_A)/ET_p$
		m ²	cm	mm	mm	mm		
Jahr 2017				814	656			
	FHZ 1	80	6			467	57 %	53 %
	Leo 1	3	6			405	50 %	62 %
	Leo 4	3	6			412	51 %	61 %
	Leo 7	3	10			398	49 %	63 %
	Leo 10	3	15			333	41 %	73 %
Sommerhalbjahr (Mai–Oktober)				421	487			
	FHZ 1	80	6			150	36 %	56 %
	Leo 1	3	6			138	33 %	58 %
	Leo 4	3	6			146	35 %	56 %
	Leo 7	3	10			130	31 %	60 %
	Leo 10	3	15			91	22 %	68 %
Winterhalbjahr (November–April)				393	169			
	FHZ 1	80	6			316	80 %	46 %
	Leo 1	3	6			266	68 %	75 %
	Leo 4	3	6			266	68 %	75 %
	Leo 7	3	10			269	68 %	73 %
	Leo 10	3	15			242	62 %	89 %

Tabelle 1: Wasserhaushalt extensiver Gründachaufbauten im Jahr 2017



Abb. 1: Halbtechnische Versuchsanlage für extensive Gründachaufbauten

Von extensiven Gründachaufbauten kann im Sommer eine deutliche Verringerung des Abflussvolumens erwartet werden, wohingegen die tatsächliche Verdunstung infolge des geringen Speichervolumens nur etwa die Hälfte der potenziellen Verdunstung ausmacht. Im Winter sind höhere Abflussanteile zu erwarten infolge des höheren Wassergehalts im Substrat, der andererseits auch einen höheren Anteil der tatsächlichen an der potenziellen Verdunstung nach sich zieht.

3.2 Effizienz von Bestandsanlagen

Beim Vergleich von naturnahen und konventionellen Regenwasserbewirtschaftungsanlagen (RWBA) kann festgestellt werden, dass konventionelle RWBA (das heißt reine Rückhalteanlagen) bei den Investitions- und Betriebskosten deutlich günstiger sind als naturnahe Anlagen (Mulden, Mulden-Rigolen). Hinsichtlich Überflutungsschutz, multifunktionaler Nutzung, Erhalt eines naturnahen Wasserhaushaltes und Akzeptanz in der Bevölkerung lassen sich jedoch klare Vorteile von naturnahen Anlagen ausmachen [8]. Die Unterschiede der Investitions- und Betriebskosten naturnaher und konventioneller Anlagen nehmen mit zunehmender Anlagengröße ab, sodass große naturnahe Anlagen auch kostenmäßig mit konventionellen Anlagen konkurrieren können. Werden alle Aspekte berücksichtigt – ökologische (Wasserbilanz, Grünflächen), ökonomische (Kosten, Pflegeaufwand) und soziale (multifunktionale Nutzung, Akzeptanz) –, so haben mittel- bis große M/R/V-Anlagen (Mulden/Rigolen/Versickerungsflächen) mit um die 20 000 m² angeschlossene abflusswirksam befestigte Fläche ($A_{b,a}$) das geringste Aufwand-Nutzen-Verhältnis.

3.3 Betriebserfahrungen

Wie sich im Zuge der Literaturrecherche zu Betriebserfahrungen zeigte, konzentrieren sich die Veröffentlichungen zum Thema Unterhaltung naturnaher RWBA zumeist auf die Nennung notwendiger bzw. möglicher Pflegemaßnahmen für bestehende Einrichtungen [9]. Dabei setzt sich die empfohlene Basisunterhaltung stets aus einem ähnlichen bzw. identischen Pool an Arbeiten zusammen (Grünpflege, Laub- und Müllentfernung etc.), während je nach Quelle in unterschiedlichem Umfang weitere Maßnahmen, insbesondere zur Funktionskontrolle, empfohlen werden. Die Praxisanalyse zeigte, dass die grundlegende Unterhaltung wie in der Literatur beschrieben Anwendung findet, der Kontrollumfang besonders bei Mulden und Mulden-Rigolen-Systemen aber deutlich geringer ausfällt und

in der Regel nur bei offensichtlichem Versagen einer Einrichtung entsprechende Untersuchungen eingeleitet werden. Die nachgewiesene Funktionsfähigkeit der bestehenden RWBA (vgl. Kapitel 5) bestätigt die Kommunen in diesem Ansatz. Der überwiegende Anteil der in die Analyse einbezogenen Anlagen (98 %) wurde vor weniger als 25 Jahren gebaut, knapp zwei Drittel erst nach der Jahrtausendwende. Dementsprechend sind Langzeitentwicklungen, die gegebenenfalls eine regelmäßige Kontrolle der Anlagen mit zunehmender Nutzungsdauer nahelegen, zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollumfänglich abschätzbar.

Eine zentrale Erkenntnis der Auseinandersetzung mit den Praxisakteuren bezieht sich jedoch nicht auf die Unterhaltungsabläufe an sich, sondern richtet den Fokus auf die Anlagenplanung. So zeigte sich, dass eine Einbeziehung der Unterhaltung bereits in den Planungsvorgängen signifikante Vorteile für den späteren Betrieb nach sich ziehen kann. Vor allem die Berücksichtigung der Grünpflege, die einen der Pflegeschwerpunkte darstellt und deren Aufwand stark von den Gegebenheiten (Böschungslage, Zugänglichkeit etc.) abhängt, hat großes Potenzial, die Effizienz und damit die Kosten für die Unterhaltung maßgeblich zu beeinflussen.

3.4 Kosten

Hinsichtlich der Kosten, dargestellt als spezifische Jahreskosten (€/m²) mit der Bezugsgröße „angeschlossene undurchlässige Fläche (A_u)“, zeigte sich [8], dass:

- die durchschnittlichen Kosten bei zentralen und dezentralen Anlagengruppen mit zunehmender Anlagengröße (Einzugsgebietsfläche A_u) abnehmen, wobei dieser Effekt bei M/R/V deutlich ausgeprägter ist, sodass dezentralere bzw. sehr kleine zentrale Anlagen, insbesondere bei M/R/V-Anlagen, tendenziell teurer ausfallen als größere, zentrale Anlagen
- die naturnahen Anlagen M/R/V bis zu einer Einzugsgebietsfläche A_u von etwa 20 000 m² deutlich höhere spezifische Jahreskosten aufweisen als Retentionsanlagen, während sich die Kosten ab größer 20 000 m² A_u anzunähern scheinen, sodass dann im Vergleich konventionell-naturnah große M/R/V-Anlagen kostenmäßig durchaus mit Retentionsanlagen konkurrieren können
- der Kostenvorteil großer, zentraler Anlagen gegenüber kleinen, dezentral ausgeführten Anlagen unter anderem im Aufwand für Pflege und Betrieb begründet ist, da kompakte, zentrale Anlagen effizienter gewartet und besser überwacht werden können, sodass sich die Betriebskosten reduzieren
- bezüglich der Ergebnisse gewisse Unsicherheiten (methodische Schwächen; ungleichmäßige Größenverteilung der Anlagen, Qualität der Basisdaten) bestehen. Es ist anzunehmen, dass die tatsächlichen Kosten von M/R/V-Anlagen als eher geringer einzuschätzen sind als hier abgebildet wurde, insbesondere bei Versickerungsanlagen mit belebter Bodenschicht (Mulden, Mulden-Rigolen, Becken).

4 Simulationsmodelle

Simulationsmodelle unterstützen im Planungsprozess dabei, Maßnahmen zu entwickeln und Entscheidungen für Vorzugslö-

sungen begründet zu treffen. Je nach Planungsphase sind unterschiedlich differenzierte Planungswerkzeuge nützlich.

4.1 Wasserbilanzmodell WABILA

Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung müssen früh in städtebauliche Planungen eingebunden werden. Stadthydrologische Simulationsmodelle sind für diese recht schnellen und variablen Planungsprozesse nicht flexibel und schnell genug. Daher wurde im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens SAMUWA [9] das einfache Wasserbilanzmodell WABILA für den urbanen Raum entwickelt. Auf der Basis umfangreicher Simulationsrechnungen und nichtlinearer, multipler Regressionsansätze gelang es, die drei Hauptkomponenten des Wasserhaushaltes als Funktion der örtlichen Kenndaten für bebauete Flächen, Anlagen und Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung sowie hydrogeologischer und meteorologischer Daten einfach und schnell zu ermitteln. Die Rechenansätze werden im neuen DWA-M 102-4 [4] vollständig publiziert. WABILA wird in einer benutzerfreundlichen Version als „DWA-Wasserhaushalts-Expert“ zur Verfügung gestellt.

4.2 Verdunstungsmodell UrbanEVA

Die Verdunstung ist eine wesentliche Wasserhaushaltskomponente, für die in stadthydrologischen Modellen bislang kein realitätsnahes Teilmodell vorlag. Diese Lücke wurde im BMBF-Verbundvorhaben WaSiG geschlossen.

Die Verdunstung im urbanen Straßenraum wurde von Koelbing et al. [10] mit hoher raum-zeitlicher Auflösung experimentell untersucht. Die Messungen fokussierten sich auf den Raum bis etwa 2 m über Straßenoberkante, der auch die stadtklimatische Aufenthaltsqualität prägt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Verdunstung hochvariabel ist und vorrangig von der Netto-Strahlung abhängt. Die Beschattung durch Gebäude und Laubbäume mindert die Verdunstung im unteren Straßenraum signifikant. Zwischen den Daten einer unbeschatteten Hauptklimastation und den lokalen Klimamessungen konnte ein modellhafter Zusammenhang hergeleitet werden, der auch die lokale Beschattungssituation berücksichtigt. Zusätzlich zu der Verdunstung im unteren Straßenraum wirkt die Verdunstung der Straßenbäume in Höhe der Baumkronen als zweite Verdunstungsebene. Die Dynamik des Wasserdampftransports von der unteren in und durch die obere Verdunstungsebene hängt von mikroklimatischen Randbedingungen und vor allem auch von der Kronendichte der Straßenbäume ab.

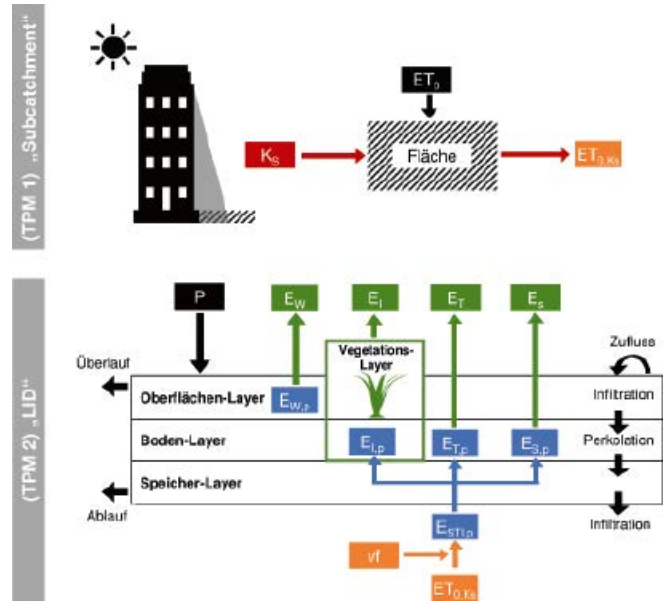


Abb. 2: Einbindung von SWMM-UrbanEVA in SWMM (verändert nach [12])

tungsebene hängt von mikroklimatischen Randbedingungen und vor allem auch von der Kronendichte der Straßenbäume ab.

Hörschemeyer [6, 7] selektierte erprobte Ansätze zur Berechnung der Verdunstung und koppelte sie mittels des Übertragungsansatzes von Koelbing et al. [10] mit einem frei verfügbaren, dynamischen Schattenwurfmodell für allgemein verfügbare dreidimensionale Daten im urbanen Raum. Das entwickelte Verdunstungsmodell UrbanEVA wurde als Teilmodell in das stadthydrologische Simulationsmodell „Storm Water Management Model (SWMM)“ der US Environmental Protection Agency (EPA) [11] integriert. SWMM ist als Open-source-Modell mit langjähriger Expertise und qualitätsgesicherter Weiterentwicklung das „Muttermodell“ der Stadthydrologie. Das neue Teilmodell beseitigt die Defizite des bisherigen Verdunstungsmodells von SWMM und eignet sich besonders zur Modellierung blau-grüner Infrastruktur.

SWMM-UrbanEVA bildet verschiedene Vegetationstypen standortgerecht und komponentenscharf (Interzeptionsverdunstung E_i , Transpiration E_T , Evaporation E_s) ab (Abbildung 2). Die Wechselwirkungen des Systems Boden – Pflanze – Atmo-

dwa.de/software

Software

rund um das Regenwassermanagement



- MDMS-Datentool mit KOSTRA-DWD-2010R-Daten
- Regenbecken-Expert
Der einfache Umgang mit Messdaten
- Versickerungs-Expert
(Arbeitsblatt DWA-A 138)
- Wasserbilanz-Expert
(Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4)

Kostenlose Demoversionen, Leistungspakete, Preise und vieles mehr finden Sie auf: www.dwa.de/software

sphäre sowie die Beschattung durch Gebäude oder Bäume werden realitätsgerecht integriert. SWMM-UrbanEVA ermöglicht, vereinfachte und detaillierte Varianten zur Begrünung und Verdunstung in der Objekt- und Quartiersplanung zu berechnen.

5 WaSiG-Modell für Referenzwerte des urbanen Wasserhaushalts

Das Planungsziel der Regenwasserbewirtschaftung ist, die Veränderungen des natürlichen Wasserhaushalts durch Siedlungsaktivitäten in mengenmäßiger und stofflicher Hinsicht so gering zu halten, wie es technisch, ökologisch und wirtschaftlich vertretbar ist (DWA-A 100) [3]. Als Emissionskriterium für die Wassermenge wird künftig der Wasserhaushalt in Siedlungsgebieten betrachtet, der dem des unbebauten Referenzzustands möglichst nahekommen soll (DWA-A 102-2, DWA-M 102-4) [4]. Als Referenzzustand dient der Wasserhaushalt einer Landschaftsfläche der gleichen naturräumlichen Einheit mit heutiger Kulturlandnutzung.

Im Hydrologischen Atlas Deutschland (HAD) [13] liegen hierzu erste hilfreiche Informationen zur Orientierung vor. Um eine räumlich genauere Differenzierung zu erhalten, wurde ein GIS-gestütztes Verfahren (WaSiG-Verfahren) entwickelt, das den kleinräumigen nicht urban geprägten Wasserhaushalt auf Grundlage von im Bundesgebiet allgemein verfügbaren Daten berechnet.

5.1 Vorgehensweise

Als Datengrundlagen werden naturräumliche Einheiten, Bodenübersichtskarten, Flächennutzungsdaten sowie Niederschlags- und Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes eingesetzt. Zur Berechnung des kleinräumigen Wasserhaushalts nicht urbaner Flächen dient eines der bewährten Wasserhaushaltsmodelle. Im Projekt WaSiG wurde das Wasserhaushaltsmodell RoGeR WHM eingesetzt, das im Projekt aus dem ereignisbasierten Niederschlag-Abfluss-Modell RoGeR [14] weiterentwickelt wurde. Die Bestimmung des Referenzzustands des Wasserhaushalts gliedert sich in acht Schritte (vgl. Abbildung 3 für 1–4):

- 1) Ausgehend vom Planungsgebiet wird die naturräumliche Einheit (NRE), in der sich das Planungsgebiet befindet, ermittelt. Als Datenquelle dienen die NRE des Hydrologischen Atlas Deutschland.
- 2) Die im Planungsgebiet vorkommenden Böden werden auf Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung 5 (2005) [15] bestimmt.
- 3) Die im Planungsgebiet vorkommenden Böden werden in der NRE ausgewählt.
- 4) Auf diesen Böden wird die nicht urbane Landnutzung aus den Corine-Daten ermittelt.
- 5) Zur Vereinfachung der Simulation werden Flächenanteile gleicher Kombination aus Boden und Landnutzung bestimmt.
- 6) Die Modellparameter werden aufgrund der Bodeneigenschaften (BÜK), Landnutzung, Topographie und Geologie festgelegt.
- 7) Für das Planungsgebiet wird eine repräsentative Klimastation (zum Beispiel Station des Deutschen Wetterdienstes) ausgewählt.

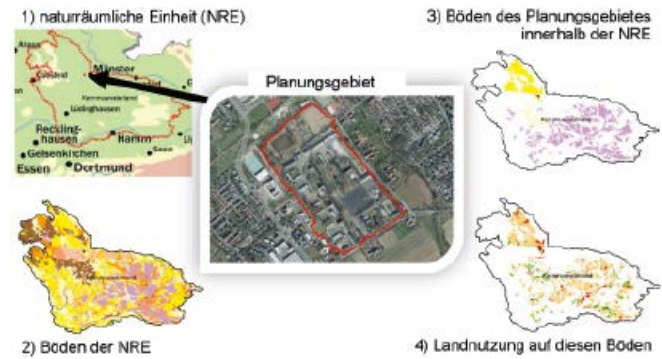


Abb. 3: Vorgehen bei der Bestimmung der Datengrundlagen für das Planungs- und Referenzgebiet

- 8) Durch Anwendung eines für diesen Zweck validierten Wasserhaushaltsmodells (zum Beispiel RoGeR WHM [14]) werden die Anteile für Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung flächengewichtet berechnet.

5.2 Ergebnisse

Beispielhaft wurden die Referenzzustände für fünf nicht urbane Gebiete in Deutschland mit unterschiedlichen Ausprägungen der warm- und feucht-gemäßigten klimatischen Bedingungen untersucht [9] mit Jahresniederschlägen P zwischen 550 mm/a und 1100 mm/a sowie einer potenziellen Verdunstung ET_p zwischen 600 und 700 mm/a. Der Oberflächenabfluss betrug 2 % bis 4 % des Jahresniederschlags und der Direktabfluss zwischen 9 % und 18 %. Die Verdunstung wies mit 44 % bis 88 % des Jahresniederschlags eine ausgeprägte Differenzierung auf ebenso wie die Grundwasserneubildung mit 19 % bis 49 % (Abbildung 4).

Die Simulationsrechnungen und weitergehende Überlegungen aus Sicht der Hydrologie, der Landschaftsökologie und des Datenmanagements lassen folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu:

- Die naturräumliche Einheit repräsentiert die Eigenschaften eines Planungsgebiets besser als zum Beispiel ein hydrologisches Einzugsgebiet.
- Die Kulturlandschaft einer naturräumlichen Einheit ohne urbane Flächen ist zur Ermittlung des Referenzzustands des

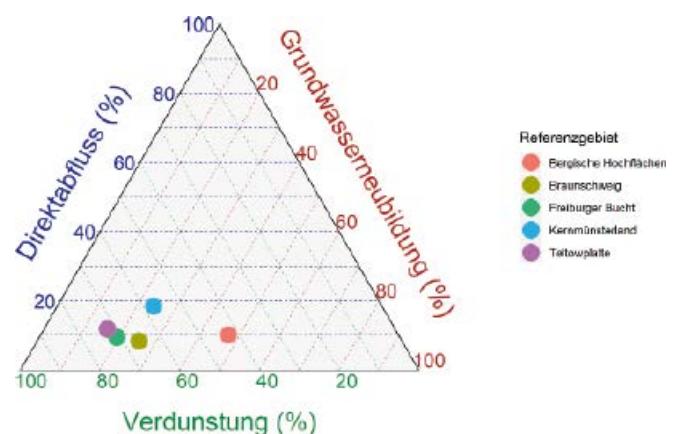


Abb. 4: Anteile der Komponenten des Wasserhaushalts für die untersuchten Referenzgebiete

Wasserhaushalts gut geeignet und ist eine realistischere Vorgabe als ein potenzieller natürlicher Zustand.

- Die vorgeschlagene Methode ist deutschlandweit einheitlich auf der Basis von frei verfügbaren Daten einsetzbar und gut geeignet, um den langjährigen mittleren Wasserhaushalt als Referenzzustand zu ermitteln.
- Die örtliche Differenzierung der Referenzzustände für die Siedlungsbereiche wird vornehmlich durch die Grundwasserneubildung und die Verdunstung geprägt.

6 Planungsprozesse

6.1 Akzeptanz

Ein wesentlicher Bestandteil heutiger Planungsprozesse ist die Mitwirkung von Bürgern. In einer repräsentativen Befragung in den Städten Freiburg, Münster und Hannover wurde der Kenntnisstand zur Regenwasserbewirtschaftung und die Akzeptanz für deren Maßnahmen erhoben und analysiert [16–19]. Insgesamt zeigte sich ein guter Kenntnisstand sowie eine durchweg hohe Akzeptanz für Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Die erkannten vorteilhaften Bewertungen überwogen die geäußerten Bedenken, die jedoch auch Anlass zu Verbesserungen und für Aufklärung sind. Die häufige geäußerte Kritik der geringen gestalterischen Qualität von Maßnahmen dürfte ein willkommener Ansporn für die Landschaftsarchitektur sein.

6.2 Erfolgsfaktoren

Eine Analyse der Planungsprozesse in Freiburg, Münster und Hannover fasst derzeit noch bestehende Hemmnisse zusammen und stellt Erfolgsfaktoren für gut gelungene Planungsprozesse heraus (Abbildung 5). Detaillierte Ausführungen sind publiziert [16–19]. Bannert et al. [19] stellen heraus, dass es in den nächsten Jahren nur gelingen kann, eine wassersensible Stadtentwicklung zu verwirklichen und die Potenziale einer multifunktionalen Flächennutzung auszuschöpfen, wenn vor allem die Innovationsfreudigkeit und Kooperationsbereitschaft der verschiedenen beteiligten politisch-planerischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Akteure zunimmt. Kramer [20] und Hörnschemeyer et al. [6, 7] nennen hierfür in Bezug auf die Berücksichtigung der Verdunstung im Planungsprozess weitere Erfolgsfaktoren.

7 Fazit

Nachfolgend sind die wichtigsten Kernbotschaften des Projektes zusammengefasst:

- 1) Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung (RWBM) sind langfristig zuverlässig und werden von den Bürgern durchweg positiv beurteilt. Bereits in der Bauleitplanung muss der Flächenbedarf für die RWBM früh berücksichtigt werden. Fachleute aus Freiburg, Hannover und Münster haben ihre Erfahrungen in Empfehlungen zur Verwaltungs- und Betriebspraxis zusammengestellt.
- 2) Simulationsmodelle für Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung wurden verbessert, durch ein neu entwickeltes Modul zur Berechnung der Verdunstung im urbanen Raum ergänzt und an Messdaten validiert. Sie sind als

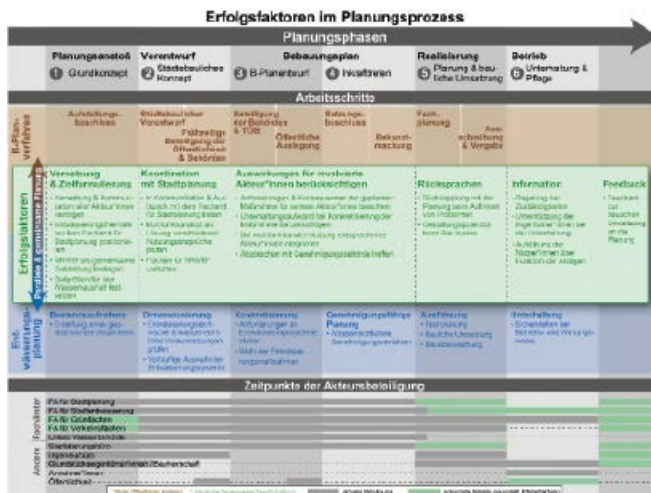


Abb. 5: Erfolgsfaktoren im Planungsprozess [18]

Open-source-Software für Anwender und Anbieter von Fachsoftware frei verfügbar.

- 3) Der Wasserhaushalt ist eine wichtige und geeignete Zielgröße der Planung. Auf der Basis allgemein verfügbarer Daten und eines allgemein anerkannten Wasserhaushaltsmodells liegt ein neuer GIS-gestützter Berechnungsansatz vor, mit dem ein Referenzzustand für den naturnahen Wasserhaushalt (unbebauter Zustand) ermittelt werden kann.

Dank

Das Verbundprojekt „Wasserhaushalte siedlungsgeprägter Gewässer“ (WaSiG) wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) gefördert. Hierfür bedankt sich das Team der in Kapitel 2 genannten Projektpartner.

Literatur

- [1] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG), *BGBI. I*, 2009, S. 2585, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021, *BGBI. I*, 2021, 3901
- [2] Baumgartner, A., Liebscher, H. J.: *Lehrbuch der Hydrologie, Band 1: Allgemeine Hydrologie*, Verlag Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1996
- [3] DWA-A 100: *Leitlinien der integralen Siedlungsentswässerung*, Hefenf, 2017
- [4] Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M102/BWK-A/M3: *Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer*, Hefenf, 2020
- [5] 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, 10 (4), 221–228
- [6] Hörschemeyer, B., Kramer, S., Henrichs, M., Uhl, M.: Verdunstung als Zielgröße wassersensitiver Stadtplanung, *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2019, 66 (11), 911–918
- [7] Hörschemeyer, B., Henrichs, M., Uhl, M.: Quantifizierung des Wasserhaushalts von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, *Ernst & Sohn Spezial 2019 – Regenwasser-Management*, 62–67
- [8] Leimbach, S., Brendt, T., Ebert, G., Jackisch, N., Zieger, F., Kramer, S.: *Regenwasserbewirtschaftungsanlagen in der Praxis – Betriebssicherheit, Kosten und Unterhaltung. Leitfaden*, Freiburg, S. 108, 2018, <https://freidok.uni-freiburg.de/data/16551>

- [9] Henrichs, M., Steinbrich, A., Leistert, H., Schuetz, T., Weiler, M., Uhl, M.: Wasserhaushalt und Resilienz der Regenwasserbewirtschaftung, Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU) (Hrsg.): *Stadt und Land im Fluss – Starke Kommunen!*, Tagungsband der Wassertage Münster 2019, Fachhochschule Münster
- [10] Koelbing, M., Schuetz, T., Weiler, M.: Steuerungsmechanismen der kleinskaligen Variabilität der urbanen Verdunstung, in Casper, M., Gronz, O., Ley, R., Schütz, T. (Hrsg.): *Den Wandel messen – Wie gehen wir mit Nichtstationarität in der Hydrologie um?* Beiträge zum Tag der Hydrologie am 23./24. März 2017 an der Universität Trier, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, <https://doi.org/10.14617/for.hydrol.wasbew.38.17>
- [11] Rossman, L.: *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1 – manual*, US EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-14/413 (NTIS EPA/600/R-14/413b), 2015
- [12] Rossman, L., Huber, W.: *Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality*, US EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-16/093, 2016
- [13] Hydrologischer Atlas Deutschland, <https://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HAD/index.html?lang=de>
- [14] Steinbrich, A., Leistert, H., Weiler, M.: Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution, *Environmental Earth Sciences* 2016, 75 (1423), 1–16
- [15] Ad-hoc-AG Boden: *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 5. Aufl., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 2005
- [16] Freytag, T., Hackenbroch, K., König, F., Bannert, L.: Akzeptanzanalyse zum Umgang mit Regenwasser, *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 2017, 11–12, 26–27
- [17] Freytag, T., Hackenbroch, K., König, F., Bannert, L.: *Akzeptanzanalyse von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen bei Anwohner*innen: Ergebnisbericht*, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2017, S. 16, <https://freidok.uni-freiburg.de/data/13497> (Zugriff am 9. September 2019)
- [18] Freytag, T., Bannert, L., König, F.: *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung im Planungsprozess: Hintergründe, Problemfelder und Erfolgsfaktoren. Leitfaden*, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2018, <https://freidok.uni-freiburg.de/data/15714> (Zugriff am 9. September 2019)
- [19] Bannert, L., Hackenbroch, K., Leszczynski, N., Freytag, T.: Wege zu einer multifunktionalen Flächennutzung im Planungsverfahren für eine naturnahe Regenwasserbewirtschaftung im städtischen Raum, *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2019, 66 (11), 894–901
- [20] Kramer, S.: Umsetzung und Akzeptanz der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen – Status Quo und Notwendigkeiten aus kommunaler Sicht, Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU) (Hrsg.): *Stadt und Land im Fluss – Starke Kommunen!* Tagungsband der Wassertage Münster 2019, Fachhochschule Münster

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl
 FH Münster
 Fachbereich Bauingenieurwesen
 Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU)
 Corrensstraße 25, 48149 Münster

E-Mail: uhl@fh-muenster.de

Dr.-Ing. Malte Henrichs
 Stadt Münster
 Amt für Mobilität und Tiefbau
 Albersloher Weg 33, 48155 Münster
 (ehemals FH Münster)

