

# **AMAREX**

– Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse –

## **Modellierungen für die Maßnahmenkatalogsteckbriefe**

Gefördert von: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

01.02.2021–31.07.2025

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft  
der Universität Stuttgart

2025

# 1 Aufgabenstellung

In Aufgabe 3.3 sollte die Wirkung „blau-grüner“ Elemente mit zusätzlicher Speicherung (RWB-N) und von Retentionsspeichern auf die Minderung bzw. Verhinderung von Trockenstress von klimawirksamen Grüntypen detailliert bestimmt und daraus vereinfachende Zusammenhänge abgeleitet werden. Im Hitze- und Trockenheitsfall ist die Wirkung neben dem Anlagentyp, der Einzugsfläche und dem Grüntyp stark von der Dimensionierung des Speichervolumens abhängig, da die zur Verhinderung von Hitze- und Trockenstress erforderlichen Bewässerungswassermengen auch von der Länge einer Hitze-/Trockenphase und deren zeitlichem Verzug zu vorangegangenen Niederschlagsereignissen abhängt. Daher musste hier bei gegebener Flächenverfügbarkeit (Niederschlags- und Bewässerungswasserdargebot) und Volumenverfügbarkeit (Speicherkapazität) die Bereitstellungskapazität für Bewässerungswasser auf der Basis langjähriger Niederschlags- und Wetterdaten berechnet werden.

Das erforderliche Speichervolumen zur optimalen klimawirksamen Bereitstellung von Bewässerungswasser sollte dann aufbauend auf einem vorhandenen Erfassungs-Speicherungs-Bereitstellungs-Modell (ESB-Modell) für verschiedene Grüntypen auf der Basis von 10-jährigen Niederschlags- und Temperaturdatenreihen berechnet werden.

Es sollte eine Methodik zur stufenweisen Wirkungsermittlung entwickelt werden, mit der der Beitrag und Effekt blaugrüner Anlagen mit Ergänzung um Speicher (RWB-N) und Retentionspeicher für die Überflutungsvorsorge (z. B. als Retentionswirkung im Starkregenfall) UND die Hitze-/Trockenheitsvorsorge sowie auf den Wasserhaushalt ermittelt wird. Die Aufgabe 3.3 sollte aufbauend auf der Aufgabe 3.2 und in enger Zusammenarbeit mit Aufgabe 2.3 durchgeführt werden.

## 1.1 Zielsetzung

Im Folgenden werden Ergebnisse aus Modellierungen vorgestellt, die zum Ziel hatten einen Vergleich der im Maßnahmenkatalog dargestellten RWB-, RWB+- und RWB-N-Anlagen hinsichtlich deren Beitrag zur Erhöhung der Resilienz der Siedlungsinfrastruktur mit Fokus auf folgende Zielsetzungen zu ermöglichen (Wirkungsanalysen):

- Nutzung von Niederschlagswasser zur Trockenheitsvorsorge (u. a. Bereitstellungskapazität),
- Starkregenvorsorge,
- Verdunstung zur Verbesserung des Mikroklimas,
- Versickerung zur Grundwasserneubildung.

Durch Kennzahlen unter Berücksichtigung von platzrelevanten Faktoren (Raum- und Flächenbedarf) sollten die Anlagen anhand ihrer Leistungsfähigkeit bezüglich der einzelnen Zielsetzungen miteinander verglichen werden. Es sollte ein Tool erstellt werden, das über die Einstellung der individuellen Maßnahmenziele die individuell am besten geeignete RWB-Anlage ermitteln lässt. Wie zu sehen, wurde die Aufgabenstellung um weitere Betrachtungen (Starkregenvorsorge, Wasserhaushalt) ausgedehnt.

Teile aus den hiesigen Berechnungen dienen als Grundlage für die Multikriterienanalyse in AP 5 „Sozio-ökonomische Bewertung“.

## 1.2 Methodik

### 1.2.1 Konzept der Modellierungen

Um einen Vergleich zwischen den Anlagen zu ermöglichen, wurden einheitliche und klare Zielsetzungen definiert. Jede RWB-Variante wurde zunächst auf unterschiedlichen Wegen nach praxisrelevanten Aspekten vordimensioniert (Nutzvolumen, Retentionsvolumen/-raum, Schichttiefen) und anschließend im ESB-Modell oder in SWMM einer 10-jährigen Simulation jeweils für die Standorte Berlin und Köln unterzogen (2014–2023) und daraus die Versickerung, Verdunstung und der Oberflächenabfluss abgeleitet.

In Berlin herrschen vergleichsweise trockene und heiße Klimabedingungen, aber auch Starkregenereignisse sind stark vertreten. Dadurch hat die Stadt sowohl mit Wasserüberschuss durch Starkregen als auch mit Wassermangel während Hitzeperioden zu kämpfen und dient daher als gutes Modell, um die Leistung der RWB-Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz gegenüber solchen Wetterextremen zu untersuchen. In Köln ist das Klima milder und feuchter, wodurch durch dieses Modellgebiet andere, weniger kritische Klimagegebenheiten abgebildet werden, sodass die Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse erhöht wird.

Ausgangspunkt einer jeden Simulation war eine 2500 m<sup>2</sup> große Dachfläche mit einem Ertragsbeiwert (= mittlerer Abflussbeiwert) von 0,8 (Flachdach), von der Wasser in die jeweilige RWB-Anlage floss und dort weiterbehandelt wurde. Eine Ausnahme bildeten die Varianten „Gründach“ und „Retentionsdach“, die direkt die 2500 m<sup>2</sup> große RWB-Anlage (ohne vorheriges Flachdach) bildeten. Für die Dachflächen wurde die Evaporation als Zeitreihe mit täglichen Werten basierend auf den ortsspezifischen Klimadaten gemäß Penman-Monteith angesetzt. Für die RWB-Anlagen wurden ebenfalls nach diesem Stil Evaporationszeitreihen berechnet.

Jeder RWB-N-Anlage wurde ein für alle Anlagen mit Nutzung einheitliches, aber für Köln und Berlin spezifisches, Stadtgrün zugeordnet, welches von der jeweiligen Anlage bewässert wurde. Für das Stadtgrün wurden standortspezifische Evaporations- und somit Bewässerungszeitreihen mittels der Software CropWat berechnet. In die Wasserbilanzen konnten die Versickerung, die Verdunstung sowie der Oberflächenabfluss sowohl der Dachfläche, der RWB-Anlage selbst als auch des Stadtgrüns eingehen.

Die Zielsetzungen der Anlagen mit Nutzung waren wie folgt:

- **RWB:** Alle „RWB“-Anlagen mussten einen 5-Jahres-Regen vollständig kappen können. Entweder musste dies über vollständige Versickerung (Mulde, Mulden-Rigolen-Element, Baumrigole, Rigole) erfolgen oder, wenn keine Versickerung vorgesehen war, über eine auf 2 L/s (bei Füllstand auf Überlaufhöhe) limitierte gedrosselte Abgabe in einen Kanal (Drosselabflussspende von 10 L/(s·ha)).
- **RWB+:** Alle „RWB+“-Anlagen mussten einen 100-Jahres-Regen vollständig kappen können. Dies erfolgte wie bei den RWB-Anlagen entweder über Versickerung oder über Drosselung.
- **RWB-N:** In Berlin mussten 1040 m<sup>2</sup> Wiese und 15 Bäume und in Köln mussten 1325 m<sup>2</sup> Wiese und 19 Bäume bewässert werden (für die Herleitung dieser Bestände aufgrund von vorhandenem Niederschlag und standortbedingt unterschiedlicher Verdunstung siehe Abschnitt 1.2.4). Die Auslegung der Nutzvolumen konnte drei unterschiedlichen Kriterien unterliegen:

- **10 % Trinkwassernachspeisung:** Innerhalb der simulierten 10 Jahre durfte der gesamte Bewässerungsbedarf aus dem Speicher als Summe zu 10 % mittels Trinkwassernachspeisung gedeckt werden, d. h. die Trinkwassernachspeisung konnte sich über mehrere Jahre verteilen.
- **9-von-10-Regel:** Innerhalb der simulierten 10 Jahre durfte nur in einem von 10 Jahren Trinkwassernachspeisung eintreten, ein Extremjahr im Simulationszeitraum musste folglich nicht abgedeckt werden.
- **0 % Trinkwassernachspeisung:** Innerhalb der simulierten 10 Jahre durfte keinerlei Trinkwassernachspeisung erfolgen, d. h. die komplette Deckung des Nutzwasserbedarfs erfolgte durch Niederschlagswasser.
- **RWB-N<sub>5</sub>:** Diese Anlage hatte sowohl die Nutzung von Niederschlagswasser für die Bewässerung als auch die Starkregenvorsorge zum Ziel. Hinsichtlich Nutzung konnte die Anlage nach den gleichen 3 Kriterien wie die RWB-N-Variante ausgelegt werden (10 % TW, 9-von-10-Regel, 0 % TW). Zusätzlich musste diese Anlage einen 5-Jahres-Regen vollständig aufnehmen können. Manche der RWB-N-Anlagen aus den Steckbriefen fallen in diese Kategorie. Die „5“ im Index dient zur schnellen Identifizierung der Anlage als solche mit Nutzung und Starkregenvorsorge.
- **RWB+N:** Diese Anlage hatte sowohl die Nutzung von Niederschlagswasser für die Bewässerung als auch die Starkregenvorsorge zum Ziel. Hinsichtlich Nutzung konnte die Anlage nach den gleichen 3 Kriterien wie die RWB-N-Variante ausgelegt werden (10 % TW, 9-von-10-Regel, 0 % TW). Zusätzlich musste diese Anlage einen 100-Jahres-Regen vollständig aufnehmen können. Eine der RWB-N-Anlagen aus den Steckbriefen fällt in diese Kategorie. Die gesonderte Bezeichnung dient zur schnellen Identifizierung der Anlage als solche mit Nutzung und Extremstarkregenvorsorge.

### 1.2.2 Modelltechnische Umsetzung

Jede von den untersuchten Varianten wurde einer 10-Jahres-Simulation in SWMM unterzogen. Jede Variantenmodellierung musste individuell gestaltet werden. Abb. 1 sowie Abb. 2 geben beispielhaft die Modellansätze zweier solcher Varianten in SWMM wieder. Den Modellen lagen folgende Eigenschaften zu Grunde:

- **Klimadaten:** In der „Climatology“-Option wurde eine Klima-Datei geladen, die folgende tägliche Daten enthielt: Minimumtemperatur, Maximumtemperatur, Windgeschwindigkeit und Evaporation. Die Evaporationszeitreihen wurden außerhalb von SWMM abhängig vom vorliegenden System (Gründach, Wiese, unbewachsene Oberfläche etc.) separat mithilfe der in Abschnitt 1.2.3 dargestellten Gleichungen berechnet. Die Temperatur- und Windgeschwindigkeitsdaten flossen in SWMM in die Schneeschmelz-Berechnungen mit ein, wofür auch geografische Daten der Standorte Berlin und Köln hinterlegt wurden.
- **Niederschlagsdaten:** Über in einen Regenschirm („Rain Gage“) eingepflegte stündliche Niederschlagsdaten (Wolken-Symbol in SWMM) wurde das System beregnet.
- **Zulauf:** Im Falle eines Oberflächenabflusses über ein Flachdach in eine Zisterne wurde der Storage Unit „Speicher“ (in Abb. 1 Mitte) eine Zeitreihe aus stündlichen Niederschlagsabflussdaten in L/s als „Inflow“ hinterlegt. In SWMM kann für verschiedene Oberflächen keine separate Evaporationszeitreihe hinterlegt werden. Daher wurde die Abflusszeitreihe des Flachdachs in einem separaten Modell ermittelt. Hierzu wurde die Speichertiefe des Flachdachs so lange angepasst bis ein Abflussbeiwert von 0,800 vorlag. Wenn der Flachdach-Oberflächenabfluss direkt auf eine Fläche mit LID Control (z. B. Muldenversickerung, Mulden-Rigolen-Element, Rigole

etc.) traf, wurde eine Outfall „Dachfläche“ definiert, die die genannte Zeitreihe als Inflow enthielt und deren Abfluss gezielt auf die jeweilige Fläche geleitet wurde. Beim Grün- bzw. Retentionsdach wurde der Abfluss über eine 2500 m<sup>2</sup> große „Subcatchment“, versehen mit der LID Control „Green Roof“ bzw. „Bio-Retention Cell“, in SWMM modelliert (in Abb. 2 links).

- Zisterne: Darstellung als „Storage Unit“ (in Abbildungen mittleres Behälter-Symbol) in vereinfachter Form als Quader. Der Storage Unit wurden folgende Eigenschaften zugeordnet: Fläche, Anfangsfüllstand, Evaporationsfaktor (bei der Zisterne = 0), maximaler Füllstand. Einige RWB-Anlagen wurden ebenfalls als Storage Unit modelliert (z. B. abgedichtete Rigole). Diese waren nach oben hin offen und konnten so Evaporationsverluste aufweisen und Niederschlag, der auf sie direkt fiel, aufnehmen. Zur Berücksichtigung der Evaporation wurde hier also ein Evaporationsfaktor eingegeben. Zur Berücksichtigung des direkten Niederschlags wurde ein Knoten im Modell erzeugt, der als Inflow eine Time Series „DirekterNiederschlag“ mit stündlichen Werten in der Einheit L/m<sup>2</sup>/s enthielt und über eine Conduit an die Storage Unit angeschlossen war. Mithilfe eines „Scale Factor“ ließ sich der Zeitreihendatensatz flexibel mit der Fläche der Einheit in m<sup>2</sup> multiplizieren und so der direkte Niederschlag berücksichtigt werden.
- Drossel der „Storage Unit“: Eine gedrosselte Ableitung wurde mittels „Orifice“ (in Abbildungen Symbol mit 2 Dreiecken) bewerkstelligt. Dieser wurde eine Höhe zugeordnet („Inlet Offset“). Der Durchfluss durch die Drossel ist abhängig vom Füllstand und der Fläche der Storage Unit und wird in SWMM über den „Discharge Coefficient“ gesteuert. Für die korrekte Berechnung dieses Koeffizienten wurde ein Excel-Tool („Drosselrechner“) gebaut, das einem bei Eingabe des Abstands zwischen Überlauf und Drosselhöhe, der gewünschten Drosselung bei Vollfüllung sowie der Zisternenfläche den passenden „Discharge Coefficient“ ausgibt. Die Orifice selbst war an eine Outfall angeschlossen, die entweder das Wasser mittels „Outlet“ an eine weitere Subcatchment weiterleitete (wie in Abb. 1) oder einen Abfluss in den Kanal repräsentierte (in Abb. 2 gelangt der Drosselablauf der Zisterne in eine Outfall „KanalablaufSpeicher“, dargestellt als Dreieck-Symbol rechts unten, was einen Abfluss in einen Kanal repräsentiert).
- Überlauf der „Storage Unit“: Musste der Überlauf in eine nachgeschaltete Einheit geleitet werden, so wurde der Überlauf durch eine einfache kreisförmige Leitung („Conduit“) (in Abb. 1 Leitung „Notüberlauf“ oberhalb der „Orifice“), die an der Storage Unit auf Höhe des Überlaufs angebracht war („Inlet Offset“), umgesetzt. Die Conduit selbst war an eine Outfall angeschlossen, die das Wasser mittels „Outlet“ an eine weitere Subcatchment weiterleitete (wie z. B. in Abb. 1 zu sehen). Wurde der Überlauf nicht in eine nachgeschaltete Einheit geleitet, reichte es, die Maximalhöhe der Storage Unit („Max. Depth“) auf die Überlaufhöhe zu setzen. Der Überlauf der Storage Unit wurde dann in SWMM als „Flooding“-Zeitreihe ausgegeben (z. B. in Abb. 2 zu sehen: hier verlässt der Überlauf der Zisterne das System ohne sichtbare Outfall).
- Trinkwassernachspeisung: Im System wurde Trinkwasser in unbegrenzten Mengen in einem Vorlagebehälter (in Abbildungen Behälter-Symbol „Trinkwasservorlage“) vorgehalten und dieser über eine Drossel („Orifice“) mit der Storage Unit verbunden. Die Steuerung der Trinkwassernachspeisung, die in der Regel bei einem Füllstand von 0,1 m eingeschaltet wurde, erfolgte durch Wenn-Dann-Befehle im „Control Rules Editor“.

- Entnahme zur Bewässerung: Eine Entnahme mittels eingepflegter Zeitreihe kann in SWMM nur aus einer Storage Unit erfolgen (nicht aus einem Subcatchment mit LID Control). Im Modell wurde hierfür einer „Pumpe“ (in Abbildungen das Pumpen-Symbol) die entsprechende Zeitreihe mit täglichen Bewässerungsmengen zugeordnet.
- LID Controls: Die meisten RWB-Anlagen wurden im Modell als Oberfläche („Subcatchment“) mit LID Control nachgebaut. Der Einbau von LID Controls ermöglicht es, der Fläche mehrere Schichten (Oberfläche, Bodenschicht, Speicherschicht, optional mit Drainageablauf) zuzuordnen. In Abb. 1 ist eine solche Fläche als das Flächen-symbol rechts unten zu erkennen. Diese Fläche wurde im Modell ebenfalls über die Rain Gage berechnet. Der Oberflächenabfluss (Überlauf) der RWB-Anlage konnte in eine Outfall gelangen (in Abb. 1 Dreieck-Symbol rechts unten) und die Zufluss-Zeitreihe davon als „Versagen der Anlage“ ausgelesen werden.
- Berechnung: Die Rechenschrittdauer betrug bei der 10-Jahres-Simulation 60 Sekunden und bei der Starkregensimulation 6 Sekunden.

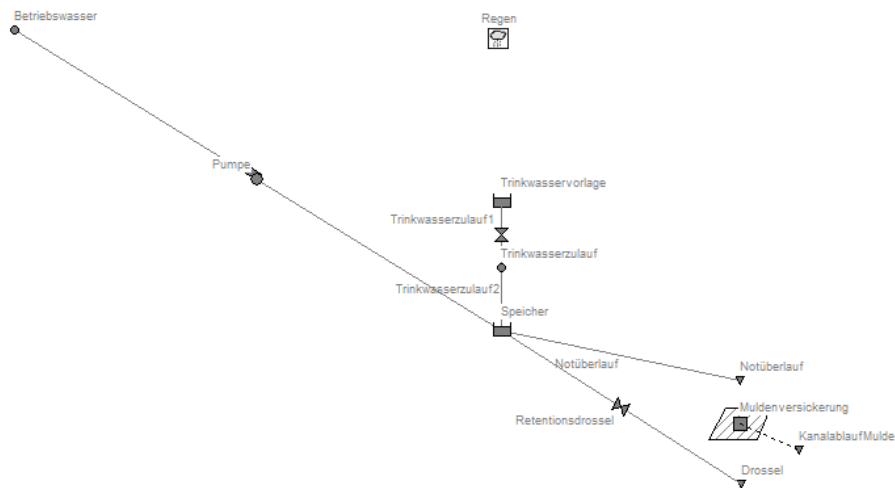


Abb. 1: Umsetzung der RWB-N<sub>5</sub>-Anlage „Zisterne mit nachgeschalteter Mulde“ in SWMM.

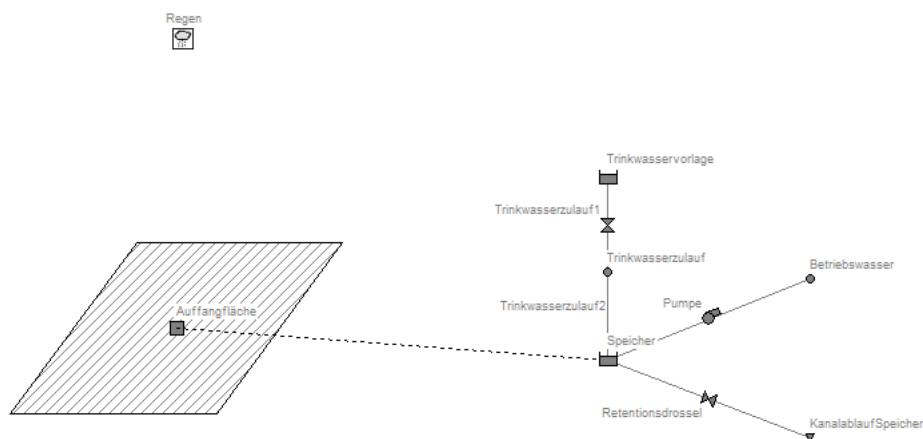


Abb. 2: Umsetzung der RWB-N-Anlage „Gründach mit nachgeschalteter Zisterne“ in SWMM.

Manche Anlagen mit Nutzung unterlagen in SWMM einem komplexeren Aufbau. Das Mulden-Rigolen-Element beispielsweise musste in zwei Subcatchments unterteilt werden, um einen direkten Überlauf der Mulde in die darunterliegende Rigole nachbilden zu können.

### 1.2.3 Verdunstungsberechnungen

Zur Berechnung der Verdunstungshöhe kamen verschiedene Näherungsverfahren zum Einsatz. Für die Evapotranspiration eines natürlich bewachsenen Bodens diente die folgende bewährte Verdunstungsberechnung nach Penman-Monteith als Grundlage.

$$ET_a = \frac{1}{L} \cdot \frac{s \cdot (R_n - G) + \rho_L \cdot c_p \cdot \frac{(e_s(T) - e)}{r_a}}{s + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)}$$

$ET_a$  = Tatsächliche Verdunstung in mm/d,  $L$  = Spezielle Verdunstungswärme in  $J/(m^2 \cdot mm)$ ,  $s$  = Steigung des Sättigungsdampfdrucks in hPa/K,  $R_n$  = Nettostrahlung in  $W/m^2$ ,  $G$  = Bodenwärmestrom in  $W/m^2$ ,  $\rho_L$  = Dichte der Luft in  $kg/m^3$ ,  $c_p$  = spezifische Wärmekapazität der Luft bei konstantem Druck in  $J/(kg \cdot K)$ ,  $e_s(T)$  = Sättigungsdampfdruck in hPa,  $e$  = aktueller Dampfdruck in hPa,  $r_a$  = aerodynamischer Verdunstungswiderstand in s/m,  $r_c$  = Bestandeswiderstand in s/m,  $\gamma$  = Psychrometerkonstante in hPa/K.

Für eine einheitliche Bestimmung der Evapotranspiration empfiehlt die Food and Agriculture Organization of the United States (FAO) die Anwendung der Gras-Referenzverdunstung. Sie verwendet die Penman-Monteith-Beziehung für einen Bewuchs mit Gras. Durch Einsetzen verschiedener Randbedingungen ( $\alpha = 0,23$ ,  $r_a = 208/v_2$ ,  $v_2$ : Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe in m/s,  $r_{c,min} = 70$  s/m) in obige Gleichung ergibt sich nach Merkblatt ATV-DVWK-M 504 die folgende Gleichung zur Berechnung der Gras-Referenzverdunstung in mm pro Tag. Für die Modellierungen wurden tägliche Verdunstungsdaten benötigt, um die Speicherdynamik der Anlagen hinreichend genau darstellen zu können.

$$ET_0 = \frac{s}{s + \gamma^*} \cdot R_n^* + \frac{90 \cdot \gamma}{s + \gamma^*} \cdot \frac{e_s(T)}{T + 273} \cdot \left(1 - \frac{U}{100}\right) \cdot v_2$$

$ET_0$  = Gras-Referenzverdunstung in mm/d,  $s$  = Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve in hPa/K,  $\gamma$  = Psychrometerkonstante in hPa/K,  $\gamma^*$  = modifizierte Psychrometerkonstante in  $(hPa \cdot m)/(K \cdot s)$ ,  $R_n^*$  = Verdunstungsäquivalent der Nettostrahlung in mm/d,  $e_s(T)$  = Sättigungsdampfdruck in hPa,  $T$  = mittlere Temperatur in 2 Meter Höhe in °C,  $U$  = relative Luftfeuchtigkeit in %,  $v_2$  = mittlere Windgeschwindigkeit in 2 Meter Höhe in m/s.

Über Multiplikation mit dem Bestandskoeffizienten  $K_c$  kann aus der Gras-Referenzverdunstung die potenzielle Verdunstung verschiedener Feldbestände ermittelt werden. Ein  $K_c$ -Wert von 1,0 entspricht dabei der potenziellen Evapotranspiration von Gras. Die hiermit bestimmten Evaporationszeitreihen wurden in den Modellen für das Gründach, das Retentionsdach und die RWB-Anlagen mit Pflanzenbewuchs eingesetzt.

Neben der Gras-Referenzverdunstung wurde in dieser Arbeit auch die Evaporation unbewachsener Landflächen benötigt. Sie wurde zur Untersuchung der Verdunstung aus der Rigole und des Flachdachs angesetzt. Für die Rigole wurde eine Bedeckung mit wasserdurchlässigem Pflaster angenommen, wofür ein Reduktionsfaktor von 0,25 angesetzt wurde. Um mit der vorhandenen Datengrundlage Ergebnisse mit täglicher Auflösung zu bekommen, wurde ein spezielles Verfahren nach Merkblatt ATV-DVWK-M 504 gewählt. Über landnutzungsspezifische Funktionen wird hier die Evaporation aus der Penman-Monteith-Beziehung abgeleitet. Dafür werden Faktoren eingesetzt, die eine quantitative Beziehung zwischen der Landnutzung und der Verdunstung ausdrücken. Diese Faktoren fließen in die allgemeine Beziehung der Evapotranspiration ein und ermöglichen dadurch eine Anpassung zur Bestimmung der Evaporation einer unbewachsenen Landfläche:

$$ET_a = ET_0 \cdot (A(\alpha) \cdot B(z_{0,eff}) \cdot M(r_{c,min}) \cdot p_a + (1 - p_a) \cdot f_0) \cdot S(W_{rel})$$

$ET_a$  = tatsächliche Evapotranspirationshöhe in mm/d,  $A(\alpha) = 1,28 - 1,22 \cdot \alpha$ ,  $\alpha = 0,23$ ,  $B(z_{0,eff}) = 1,39 \cdot z_{0,eff}^{0,55} + 0,86$ ,  $z_{0,eff} = 0,15$ ,  $M(r_{c,min}) = 1,23$ ,  $p_a = 0,1$ ,  $f_0 = 0,65$ ,  $S(W_{rel}) = 1$ .

#### 1.2.4 Bewässerungsbedarf des Stadtgrüns

Um den Wasserhaushalt der Anlagen mit Nutzung möglichst realitätsnah simulieren zu können, wurde der an den Niederschlag und an die standortspezifischen Klimabedingungen angepasste tägliche Wasserbedarf des für die Bewässerung angesetzten Stadtgrüns benötigt.

Für eine möglichst realitätsnahe Ermittlung des Bewässerungsbedarfs müssen die Anforderungen der Bepflanzung sowie praxisrelevante Aspekte berücksichtigt werden. CropWat simuliert über die Boden- und Pflanzendaten sowie die Klimadaten den täglichen Bodenwassergehalt. Dafür berechnet das Programm die tägliche Gras-Referenzverdunstung nach der Penman-Monteith-Gleichung. Hierzu werden verschiedene Klimadaten eingepflegt.

Das Ausmaß der Wiesenfläche sowie die Anzahl der Stadtbäume des modellierten Stadtgrüns variierte zwischen Berlin und Köln und orientierte sich an den spezifischen klimatischen Ortsbedingungen. In CropWat wurden daher die erforderlichen Bewässerungszeitreihen für 1 m<sup>2</sup> Wiesenfläche und 1 Stadtbaum jeweils für die Jahre 2014 bis 2023 und die beiden Untersuchungsgebiete Berlin und Köln berechnet. Die Ermittlung des möglichen Stadtgrünumfangs, der einmal definiert für alle RWB-N-Anlagen gelten musste, erfolgte in einem iterativen Prozess über mehrere Anpassungen der Pflanzenparameter und der Bewässerungsstrategie in CropWat im Rahmen der Zisternenbemessung im ESB-Modell (s. Abschnitt 1.2.6). So wurden unter Berücksichtigung verschiedener Anforderungen und Erkenntnisse an die Bewässerung die Einstellungen in CropWat so lange angepasst, bis sich bei einem vorher festgelegten Nutzvolumen ein ausreichend großes Stadtgrün von mindestens 1000 m<sup>2</sup> Wiesenfläche und einer Anzahl von mindestens 10 Stadtbäumen herausbildete. Hierfür musste die spezifische Bewässerung eher karg ausgelegt werden. In Tab. 1 sind die Ergebnisse der Stadtgrünauslegung sowie Wasserbedarfsermittlung der 10-Jahres-Wasserbilanz für das Stadtgrün aufgelistet.

Tab. 1: Dimensionen und Wasserbilanz des in den Modellierungen angesetzten Stadtgrüns (SG) über den Zeitraum 2014–2023.

Bilanzgröße	Einheit	Berlin	Köln
Gesamtniederschlag	mm	5252	7543
Bäume	Anzahl	15	19
Baumfläche	m <sup>2</sup>	135	171
Wiesenfläche	m <sup>2</sup>	1040	1325
Gesamtfläche	m <sup>2</sup>	1175	1496
Bruttobewässerung*	m <sup>3</sup>	3112	2455
Bewässerungsverlust*	m <sup>3</sup>	316	215
Tatsächlicher Wassergebrauch*	m <sup>3</sup>	7714	9800
Niederschlag über SG*	m <sup>3</sup>	6171	11285
Versickerung durch SG**	m <sup>3</sup>	1252	3724
Verdunstung durch SG**	m <sup>3</sup>	8030	10015

\* Ausgabe durch CropWat, \*\* Berechnung aus ausgegebenen CropWat-Daten

#### 1.2.5 Klima- und Starkregendaten

Für das Modellgebiet Berlin wurden die Daten der Wetterstation Berlin-Tempelhof verwendet, für das Modellgebiet Köln die Daten der Wetterstation Köln-Bonn (stündlicher Niederschlag, mittlere Temperatur, Minimum- und Maximumtemperatur, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer). Für die Berechnung in CropWat konnten nur tägliche Niederschlagsdaten berücksichtigt werden. Für die Simulation der 10-Jahres-Zeiträume in SWMM wurden stündliche Niederschlagsdaten für eine höhere Auflösung der Berechnungen verwendet. Um für beide Modelle die gleichen Niederschlagssummen aller 10 simulierten Jahre (Berlin: 5252 mm, Köln:

7543 mm) zu erhalten, wurden aus den stündlichen Niederschlagsdaten die täglichen Niederschlagsdaten durch Aufsummieren der Stunden- zu Tageswerten generiert.

Die für die Berechnungen und Simulationen benötigten Klimadaten wurden aus dem Archiv des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2024a), dessen Klimadatenzentrum (CDC) (DWD, 2024b) und vom Wetterportal Meteostat (2024) bezogen. Durch die verschiedenen Bezugsquellen konnten die meisten Datenlücken in den Zeitreihen gefüllt werden. Bestehende Fehldaten wurden durch Klimadaten der nächstgelegenen Wetterstation (Berlin-Tegel, Berlin-Marzahn, Berlin-Dahlem, Köln-Stammheim) gefüllt. Für die Modellierungen zur Starkregenvorsorge (Bemessung der meisten RWB- und RWB+-Anlagen) wurden statistisch aufbereitete KOSTRA-Niederschlagsreihen vom Euler Typ 2 des DWD verwendet.

## **1.2.6 Bemessung und Modellierung**

### Fixe Bedingungen für alle Modelle

Als Bodenart für Versickerungsanlagen und den anstehenden Untergrund wurde Mittel- bis Feinsand gewählt. In SWMM wird für diesen eine hydraulische Leitfähigkeit von 120,4 mm/h angesetzt ( $k_f = 3,33 \times 10^{-5}$  m/s). Mehrere Anlagen wurden zunächst gemäß DWA-A 138 dimensioniert, hierfür wurde vereinfacht die Hälfte dieses  $k_f$ -Werts angesetzt. Bei diesen Bemessungen wurde stets ein Zuschlagfaktor von 1,2 angewendet. Für die Bemessung von RWB-Anlagen wurde eine Wiederkehrzeit von 5 Jahren angesetzt. Bei der RWB+-Variante wurde vor dem Hintergrund zunehmender Starkregenereignisse für einen besseren Starkregenschutz ein 100-Jahres-Regen angesetzt.

Einige Anlagen mussten im Modell anhand eines Starkregenereignisses dimensioniert werden. Bei solch einer Bemessung wurde während dieses Starkregenereignisses kein Bedarf für Bewässerung, also keine Entnahme aus der Anlage, und keine Evaporation angesetzt. Das deckt sich auch mit der Annahme, dass Starkregen tendenziell im Winter fällt, wenn keine Bewässerung und kaum Evaporation vorliegen. Die Bedingungen für dieses Starkregenereignis waren: Euler Typ 2 und 2 h Dauerstufe.

Der Anfangsfüllstand bei der Bemessung anhand eines Starkregenereignisses variierte je nach Anlagentyp. Allgemein galt, dass etwaig vorhandenes Nutzvolumen zu Beginn der Simulation stets vollständig gefüllt war und etwaig vorhandenes Retentionsvolumen leer war. Diese Annahme ist sinnvoll, da ein Langfristspeicher vor allem zu Jahresbeginn aufgrund geringer Evaporationsverluste und ausbleibender Bewässerung/Förderung meist vollgefüllt ist. Bei der Bemessung anhand eines Starkregenereignisses wurde so auch sichergestellt, dass das Retentionsvolumen allein den Starkregen aufnehmen kann. Bei Vollerfüllung des Nutzvolumens setzte sich der Anfangsinhalt folglich aus Nutz- und Mindestvolumen zusammen (das Mindestvolumen ist das Volumen, das stets vollgefüllt bleiben muss, was durch eine Trinkwassernachspeisung bewerkstelligt wird). Bei Systemen mit Bodenspeicher (LID Control mit „Soil Layer“) wurde mit einer Anfangssättigung des Bodens von 50 % gerechnet.

Für die Bemessung von Anlagen mit Nutzung des Niederschlagswassers wurden die bereits genannten drei Zielsetzungen hinsichtlich Trinkwassernachspeisung (0 % und 10 % Trinkwassernachspeisung sowie 9-von-10-Regel) untersucht. Für die Bemessung des Nutzvolumens, also des Langfristspeichers der Anlagen mit Nutzung, wurde das Nutzvolumen in 10-Jahres-Simulationen so lange variiert bis sich die oben genannten Kriterien bzgl. Trinkwassernachspeisung einstellten.

## Übersicht aller untersuchten Anlagen

Die untersuchten Varianten sind in Tab. 2 zusammengefasst.

*Tab. 2: Übersicht und Zuordnung aller untersuchten Anlagen.*

Nr.	Steckbrief	Zuordnung	Zielsetzung	Aufbau
1	01 Zisterne	RWB-N	Nutzung	Dach - ZisterneNV
2	01 Zisterne (sm.)	RWB-N	Nutzung	Dach - Zisterne(sm)NV
3	01 Zisterne (sm.)	RWB+N	100a + Nutzung	Dach - Zisterne(sm)NVRV100a
4	02 Mulde	RWB	5a	Dach - Mulde5a (kN)
5	02 Mulde	RWB+	100a	Dach - Mulde100a (kN)
6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + Nutzung	Dach - ZisterneNV - Mulde5a
7	03 Rigole	RWB	5a	Dach - Rigole5a (kN)
8	03 Rigole	RWB+	100a	Dach - Rigole100a (kN)
9	03 Rigole	RWB-N	Nutzung	Dach - RigoleAbgNV
10	04 MRE	RWB	5a	Dach - MREMulde1a5a (kN)
11	04 MRE	RWB+	100a	Dach - MREMulde20a100a (kN)
12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + Nutzung	Dach - MREAbgMulde1a5aDrossel - ZisterneNV
13	05 GD & RD	RWB ext. GD (Zisterne nötig)	5a	GDext - ZisterneRV5a (kN)
14	05 GD & RD	RWB+ int. GD (Zisterne nötig)	100a	GDint - ZisterneRV100a (kN)
15	05 GD & RD	RWB+ RD	100a	RD (kN)
16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	Nutzung	GDext - ZisterneNV
17	05 GD & RD	RWB-N RD	Nutzung	RD - ZisterneNV
18	06 HOB & BR	RWB HOB	5a	Dach - HOB5a (59 bzw. 54 HOB)
19	06 HOB & BR	RWB+ BR	100a	Dach - BR100a (46 bzw. 38 BR)
20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	Nutzung	GDext - ZisterneNV - HOB

5a: 5-Jahres-Regen, 100a: 100-Jahres-Regen, Abg: abgedichtet, BR: Baumrigole, ext: extensiv, GD: Gründach, HOB: Hydrologisch optimierter Baumstandort, int: intensiv, kN: keine Nutzung, MRE: Mulden-Rigolen-Element, NV: Nutzvolumen, RD: Retentionsdach, RV: Retentionsvolumen, sm: smart, TW: Trinkwasser.

## Schritt-für-Schritt-Vorgehen

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte zur Dimensionierung/Bemessung der einzelnen Anlagen aufgelistet. Jede Anlage wurde nach der Dimensionierung in SWMM einer 10-Jahres-Simulation unterzogen und so die Wasserbilanzen ermittelt (Verdunstung, Versickerung, Direktabfluss).

Zisterne:

1. Die Zisterne wies konstant 3 m Tiefe und eine quadratische Tankfläche auf, je nach Anforderung bestehend aus Mindest-, Nutz- und/oder Retentionsvolumen (Drosselung bei Retentionsvolumen von 2 L/s).
2. Dimensionierung des Retentionsvolumens der Zisterne über Starkregensimulation in SWMM: 5-Jahres-Regen sowie 100-Jahres-Regen (ohne Nutzvolumen). Hierzu wurde die Fläche so lange angepasst, bis kein Notüberlauf erfolgte, zum gefundenen Retentionsvolumen wurde noch der Zuschlagfaktor 1,2 multipliziert (analog zu DWA-A 138).
3. Das Nutzvolumen sollte aus dem berechneten Retentionsvolumen für den 5-Jahres-Regen abgeleitet werden und mit dem Retentionsvolumen in einem Verhältnis von 1:1 bis 2:1 stehen. Ein möglichst kleines Nutzvolumen wurde aufgrund des geringeren Platz- und Kostenaufwandes angestrebt. Gleichzeitig sollte das Nutzvolumen für einen praxisrelevanten Umfang an Stadtgrün reichen. Dieser wurde als mindestens 1000 m<sup>2</sup> Wiese und mindestens 10 Bäume angestrebt. Zur besseren Vergleichbarkeit

wurde in beiden Gebieten sowohl dasselbe Verhältnis aus Nutz- und Retentionsvolumen als auch dasselbe Verhältnis aus Wiesenfläche und Anzahl an Bäumen anviert. Da Berlin im Vergleich zu Köln regenärmer ist, wurde die Bewässerungsmenge und das Nutzvolumen zunächst für dieses Untersuchungsgebiet ausgelegt. Anschließend wurde dasselbe Verhältnis von Nutz- und Retentionsvolumen auf Köln übertragen und für das daraus resultierende Nutzvolumen das maximal mögliche zu bewässernde Stadtgrün für Köln im selben Verhältnis wie in Berlin ermittelt. Der spezifische Bewässerungsbedarf wurde über eine bedarfsgerechte, dynamische Bewässerung über CropWat simuliert. In CropWat entstanden zwei Bewässerungszeitreihen jeweils für 1 m<sup>2</sup> Wiese und 1 Baum. Die Ermittlung der Nutzvolumina erfolgte über eine 10-Jahres-Simulation des Zeitraums 2014 bis 2023 über das ESB-Modell. Dazu wurden die stündlichen Niederschlagsdaten und die über CropWat ermittelten Bewässerungszeitreihen für die Wiese und die Bäume separat in das ESB-Modell eingepflegt. Die Werte der Bewässerungszeitreihen lagen in L/m<sup>2</sup> pro Tag vor und konnten über Faktoren einzeln variiert werden. Das Ziel war ein größtmöglicher Umfang des Stadtgrüns bei 10 % Trinkwassernachspeisung. Dies entspricht einem praxistauglichen Wert, da bei geringerer oder keiner Trinkwassernachspeisung die benötigten Volumina überproportional ansteigen, um selten auftretende Extremsituationen zu überbrücken. Die Erkenntnis der Wasserbedarfsermittlungen in CropWat war, dass zur Deckung der Bewässerungsanforderungen die maximale Ausführung des Nutzvolumens im Verhältnis 2:1 zum Retentionsvolumen notwendig wurde.

4. Zusätzlich wurde bei dem nun gegebenen Wasserbedarf das Nutzvolumen bestimmt, bei dem keine Trinkwassernachspeisung erfolgte (0 % TW-Nachspeisung) und bei dem Trinkwassernachspeisung nur in einem der 10 Jahre erfolgte (9-von-10-Regel). Diese Ermittlung erfolgte schrittweise über Vergrößerung des Nutzvolumens im ESB-Modell, bis die gewünschte Zielsetzung erreicht wurde. Bei 0 % TW-Nachspeisung war das der Fall, sobald die Trinkwassernachspeisung des gesamten Simulationszeitraums 0 betrug. Bei der 9-von-10-Regel wurde das Nutzvolumen so lange angepasst, bis gerade noch so nur noch in einem der zehn Jahre Trinkwassernachspeisung eintrat.
5. Eine smarte Retentionszisterne hinsichtlich Starkregenvorsorge weist immer ein Nutzvolumen und ein Retentionsvolumen auf. Vereinfacht erfolgte die Auslegung der smarten Zisternen-Varianten über die Annahme, dass eine smarte Zisterne durch das prognosegesteuerte Wassermanagement 20 % weniger Retentionsvolumen und 10 % weniger Nutzvolumen benötigt als sein nicht-smartes Äquivalent. Für das Scoring wurden die Drosselabläufe und Überläufe der nicht-smarten Äquivalente übernommen.

#### Muldenversickerung:

1. Die Fläche der Versickerungsmulde als RWB- (5-Jahres-Regen) und RWB+-Anlage (100-Jahres-Regen) wurde für eine Einstauhöhe von 30 cm nach Arbeitsblatt DWA-A 138 ausgelegt.
2. Für die vorgeschaltete Zisterne der RWB-N-Variante wurde das im Zisternen-Steckbrief ermittelte Nutzvolumen übernommen. Die nachgeschaltete Mulde entsprach der Dimensionierung für ein 5-Jahres-Regenereignis. Modelliert wurde die Mulde mit einer 50 cm Bodentiefe.

## Rigole:

1. Jede Rigole (RWB, RWB+, RWB-N) wurde einmal in Form einer Kunststofffüllkörper-rigole (Leerraumanteil: 0,9) und einmal in Form einer Kiesrigole (Leerraumanteil: 0,35) modelliert.
2. Die Auslegung der Fläche der RWB- und RWB+-Rigole erfolgte nach DWA-A 138 (feste Rigolenhöhe: 1,3 m, festes Verhältnis aus Rigolenlänge und Rigolenbreite: 1,5).
3. Idee der RWB-N-Variante im Kontext der Rigole war, diese an der Sohle abzudichten und Wasser direkt aus der Rigole für die Bewässerung zu entnehmen. Anders als bei der quasi vollständig abgedichteten Zisterne, tritt bei einer Rigole über längere Zeiträume Evaporation auf (sofern diese nicht vollständig ummantelt ist). Daher wurde eine Auslegung des benötigten Nutzvolumens für die verschiedenen Varianten der Rigole mit Nutzung über eine 10-Jahres-Simulation in SWMM notwendig. Da eine Entnahme mit Bedarfszeitreihe aus der Rigole erfolgen sollte und eine Entnahme in SWMM nur aus einer „Storage Unit“ (Speichereinheit) und nicht aus einer „LID Control“ (Einzugsgebietsfläche) modelliert werden kann, musste die abgedichtete Rigole als Storage Unit mit angepasster Fläche (=Leerraumfläche) und angepasstem Evaporationsfaktor (Kunststoff:  $1,111 = 1 / 0,9$ , Kies:  $2,857 = 1 / 0,35$ ) modelliert werden. Die Rigole wurde wie die Zisterne an eine Trinkwassernachspeisung angeschlossen (Mindestfüllstand von 0,1 m). Nun wurde das benötigte Rigolenvolumen zur Deckung des Nutzwasserbedarfs über 10-Jahres-Simulationen mittels Variation der Rigolenfläche ausgelegt.

## Mulden-Rigolen-Element:

1. Die Dimensionierung der RWB- und RWB+-Anlagen erfolgte gemäß DWA-A 138 mit folgenden Parametern: Muldenhöhe 30 cm, Länge-Breite-Verhältnis 1,5 und Bodentiefe 30 cm. Der Muldenüberlauf mündete jeweils in die Rigole. Bei der RWB-Variante wurde die Mulde für ein 1-Jahres-Regenereignis ausgelegt, während die Rigole so bemessen wurde, dass sie zusammen mit der Mulde einen 5-Jahres-Regen aufnehmen kann. In der RWB+-Anlage erfolgte die Auslegung der Mulde für ein 20-Jahres-Regenereignis und die Gesamtanlage für ein 100-Jahres-Regenereignis. Die Rigolentiefe wurde dabei so lange angepasst, bis die festgelegten Kapazitäten erfüllt waren. Das MRE wurde so modelliert, dass der Überlauf der Rigole direkt in den Drosselschacht geleitet wird. Eine Rückkopplung von der Rigole zur Mulde wurde dabei gezielt verhindert, was die Umsetzung in SWMM zusätzlich vereinfachte.
2. Für die RWB-N-Variante, bei der ein Drosselablauf (und Rigolenüberlauf) des MRE in eine nachgeschaltete Zisterne gelangt, musste das MRE ohne Versickerung und stattdessen mit gedrosseltem Abfluss bemessen werden. Das MRE fungierte in diesem System also als eine Art vorgeschalteter Kurzfrist-Retentionsraum und Filter und die Zisterne als nachgeschalteter Langfrist-Speicherraum. Auch hier wurde das MRE so im Modell umgesetzt, dass der Rigolenüberlauf in den Drosselschacht abfloss. Dieses MRE wurde mittels DWA-A 138 für ein 5-jährliches Regenereignis ausgelegt. Als mittlerer Drosselabfluss wurde die Hälfte des maximalen Drosselabflusses von 2 L/s gewählt.
3. Die Zisterne der RWB-N-Variante wurde mit einer Trinkwassernachspeisung bei einem Mindestfüllstand von 0,1 m ausgestattet. Die Höhe der Zisterne wurde auf 2 m begrenzt, da diese ein nachgeschaltetes Element darstellte, deren Überlauf auf Sohlhöhe des MRE (hier war auch die Drossel des MRE angebracht) liegen musste, um

ein praxistaugliches Überfließen des Wassers nur anhand der Schwerkraft zu ermöglichen. Zur Ermittlung des Nutzvolumens dieser Zisterne wurde in einer 10-Jahres-Simulation die Fläche der Zisterne so lange angepasst, bis die drei Trinkwassernachspeisungskriterien erfüllt wurden.

#### Gründach und Retentionsdach:

1. Die Gründächer und das Retentionsdach nahmen die 2500 m<sup>2</sup> Dachfläche ein und ersetzten damit das Flachdach, welches in den anderen Modellierungen herangezogen wurde. Damit lag die Fläche dieser RWB(+)-Anlagen bereits fest. Grundlegende Modellparameter für die Oberflächenschicht, die Bodenschichttiefe und Bodeneigenschaften sowie die Drainageschicht der Gründächer wurden für beide Standorte Berlin und Köln einheitlich vordimensioniert, denn Gründächer werden bisher nicht anhand von standortspezifischen Bemessungsjährlichkeiten dimensioniert.
2. Für die Auslegung der Dächer spielen neben den Größenparametern auch die gewählte Bepflanzung und damit die Evapotranspirationsleistung der Anlagen eine große Rolle. Für die Modellierung in SWMM musste diese daher an die Sollbereiche für den Abflussbeiwert (Abflussbeiwert = Verhältnis aus Abfluss und Gesamtzufluss der Anlage) angepasst werden. Als Soll- und Orientierungswerte wurden 0,2–0,6 für das extensive Gründach und <0,1 bis 0,4 für das intensive Gründach anvisiert (DIN 1986-100; DIN 1989-1; FLL-Dachbegrünungsrichtlinie, 2018). Für den Abflussbeiwert des Retentionsdachs wurde ein Bereich von 0,05 bis 0,24 angestrebt, da es sich durch seine starke Wasserrückhaltung auszeichnet (Bauder, o. J.). Für die Anpassung der Evapotranspiration wurde die verwendete Gras-Referenzverdunstungs-Zeitreihe über einen Faktor (im Grunde der K<sub>c</sub>-Wert) angepasst. Das Retentionsdach und das extensive Gründach wurden in dieser Untersuchung beide mit denselben Parametern für eine extensive Begrünung modelliert. Die besten Übereinstimmungen der Abflussbeiwerte mit dem Sollbereich wurden bei einem extensiven Gründach und Retentionsdach bei 80 % der Gras-Referenzverdunstung und bei einem intensiven Gründach bei 120 % der Gras-Referenzverdunstung erreicht.
3. Erste Simulationen zeigten, dass die Gründächer aufgrund der fehlenden Drosselung der LID Control „Green Roof“ allein nicht für den Starkregentrückhalt (extensiv: 5-Jahres-Regen, intensiv: 100-Jahres-Regen) ausreichten und selbst bei einer Erhöhung der Boden- und Drainagetiefe ein zusätzliches Retentionsvolumen benötigten (in Form einer nachgeschalteten Zisterne mit einer an der Sohle angebrachten Drossel von 2 L/s). Daher wurden die Modellparameter der Vordimensionierung beibehalten und in der Starkregensimulation dieses benötigte Retentionsvolumen so bestimmt, dass es gerade so zu keinem Überlauf aus der Zisterne kam (inkl. Zuschlagfaktor).
4. Das Retentionsdach dagegen war in der Vordimensionierung für den Starkregenfall (100-Jahres-Regen) bereits überdimensioniert und brauchte kein nachgeschaltetes Retentionsvolumen. Daher konnte hier die Speichertiefe (Drainagetiefe) des Retentionsdachs für die RWB+-Variante so weit verringert werden, bis bei einem 100-Jahres-Regen gerade noch so kein Ablauf >2 L/s erfolgte. Die Drosselhöhe wurde hierbei stets 20 mm unterhalb der Bodenschicht angesetzt. Die ermittelte Speichertiefe wurde ebenfalls mit einem Zuschlagfaktor von 1,2 multipliziert, um die Bemessungsspeichertiefe zu erhalten.
5. Die Auslegung der benötigten Nutzvolumina der nachgeschalteten Zisternen (3 m Höhe) der RWB-N-Varianten wurde wie in den vorangegangenen Schritten beschrieben über die 10-Jahre-Simulation in SWMM ermittelt.

#### Hydrologisch optimierter Baumstandort und Baumrigole:

1. Der Hydrologisch optimierte Baumstandort (HOB) und die Baumrigole (BR) wurden für beide Standorte einheitlich vordimensioniert.
2. Für die RWB-Variante wurde ermittelt, wie viele hydrologisch optimierte Baumstandorte benötigt werden, um den Niederschlagsabfluss eines 5 Jahres-Regens einer 2500 m<sup>2</sup> großen Dachfläche mit einem Ertragsbeiwert von 0,8 aufzufangen. Für die RWB+-Variante wurde die Anzahl der benötigten Baumrigolen für einen 100-Jahres-Regen bestimmt. Die Starkregensimulation hierfür erfolgte über SWMM. Für diese Auslegung wurde die Fläche der jeweiligen Baumart analog zum Flächenbedarf der Stadtbäume angesetzt. Deshalb wurde die Fläche in 9-m<sup>2</sup>-Schritten variiert, da dies der gewählten Fläche einer Baumscheibe entsprach. Das Ziel bei dieser Variation war die minimale Anzahl an Bäumen, bei der gerade so kein Überlauf erfolgt. Die gefundene Anzahl Bäume wurde mit dem Zuschlagfaktor 1,2 multipliziert und die resultierende Anzahl an Bäumen bei den Modellierungen zur Bestimmung der Wasserbilanzen verwendet.
3. Bei der RWB-N-Variante wurde der Zufluss der 2500-m<sup>2</sup>-Dachfläche über eine Zisterne auf HOB verteilt. Das Mindest- und Nutzvolumen der Zisterne war für diesen Zweck bereits im Rahmen des Zisternen-Steckbriefs bemessen worden. Die Anzahl der HOB entsprach hier der jeweiligen Anzahl an Bäumen des Stadtgrüns im Untersuchungsgebiet, d. h. es wurde der Fall betrachtet, dass die ohnehin im Stadtgrün vorhandenen Bäume nicht nur zur Bewässerung, sondern auch als Retentionsraum fungieren sollten (Aufnahme von Bewässerung und Überlauf der Zisterne). Es wurde darauf geachtet, dass im RWB-N-Modell die HOB wie für das Stadtgrün üblich bewässert wurden.

## 1.3 Bewertungstool

### 1.3.1 Einleitung

Um die untersuchten RWB-, RWB+- und RWB-N-Varianten miteinander vergleichen zu können, wurde ein MS Excel-Tool entwickelt (Abb. 3 und Abb. 4). Die Ergebnisse der Modellierungen zur Auslegung der Anlagen und deren Wasserbilanzen wurden in diesem Bewertungstool zusammengetragen. Diesem Tool wurden Bewertungskriterien hinterlegt, die im Folgenden erläutert werden. Das Tool wird auf der Homepage des AMAREX-Vorhabens zum Download bereitgestellt.

Die Leistungsstärke einer Anlage zur Erfüllung einer oder mehrerer der vier Zielsetzungen *Nutzung*, *Starkregenvorsorge*, *Verdunstung* und *Versickerung* sollte bewertet werden. Dazu wurde ihr entsprechend des Zielerfüllungsgrades im Vergleich zu den anderen Anlagen eine normalisierte Punktzahl zugeordnet. Die Punkteskala reichte wie für eine Multikriterienanalyse üblich von 1 bis 10, wobei 1 für den schlechtesten Grad an Zielerfüllung stand und 10 für den besten („E-Score“ für Effizienz-Score). Die Anlagen können im Tool anhand ihrer erreichten Punktzahl für eine Zielsetzung sortiert werden.

Über einen Flächen- oder Volumen-Score („FV-Score“) kann der jeweilige Flächen- bzw. Volumenbedarf in der Beurteilung der Anlagen berücksichtigt werden. Für spezifische Analysen kann der FV-Score mit unterschiedlich starker Gewichtung in die Bewertung einfließen und auf

verschiedene Größen Bezug nehmen. So können beispielsweise nur die benötigte Fläche<sup>1</sup>, das Nutzvolumen oder der benötigte Retentionsraum<sup>2</sup> berücksichtigt werden oder das Verhältnis vom Nutzvolumen bzw. Retentionsraum zum Gesamtvolumen<sup>3</sup> in die Bewertung einfließen. Für das Scoring der Starkregenvorsorge kann über den FV-Score noch zusätzlich der kritische Abfluss<sup>4</sup> für alle Anlagen betrachtet werden.

Der Score einer Anlage setzt sich folglich aus einem Effizienz-Score (E-Score) (separate Betrachtung von *Nutzung*, *Starkregenvorsorge*, *Verdunstung* und *Versickerung*) und einem Flächen- oder Volumen-Score (FV-Score) gemäß folgender Gleichung zusammen:

$$\text{Score} = (1 - G_{FV}) \cdot E + G_{FV} \cdot FV$$

Die Gewichtung  $G_{FV}$  des FV-Scores wird entsprechend einer Zahl zwischen 0 (nur Betrachtung des E-Scores) und 1 (nur Betrachtung des FV-Scores) eingestellt. Der resultierende Score wird im Tool innerhalb der verschiedenen Anlagen ebenfalls zwischen 1 und 10 normiert.

Die erreichten Punktzahlen können sowohl für einzelne Zielsetzungen als auch für Kombinationen mehrerer Zielsetzungen miteinander verglichen werden. So kann auch eine Gesamtwertung unter Berücksichtigung aller Zielsetzungen berechnet werden. Die einzelnen Zielsetzungen können, wie der Einfluss des FV-Scores, beliebig gewichtet werden (Schieberegler in Abb. 3 links oben).

Die Anlagen wurden anhand von 2 Zielbetrachtungen bewertet:

- 1) Einfache Bewertung ohne Flächenberücksichtigung (siehe Einstellungen in Abb. 4). Hier wurden für die 4 Kriterien folgende Parameter betrachtet:
  - a. *Nutzung*: Scoring anhand des Nutzvolumens (E-Score nicht betrachtet)
  - b. *Starkregenvorsorge*: Scoring anhand des kritischen Abflusses (E-Score nicht betrachtet)
  - c. *Verdunstung*: Scoring anhand der Gesamtverdunstung der Anlage
  - d. *Versickerung*: Scoring anhand der Gesamtversickerung der Anlage
- 2) Für den einheitlichen Vergleich der Anlagen ging die benötigte Fläche zu einem Anteil von 50 % in die Punktzahl ein ( $G_{FV} = 0,5$ ). Eine 50%ige Gewichtung stellte einen guten Kompromiss dar, um den Flächeneinfluss als wichtigen Praxisfaktor zu berücksichtigen, ohne ihn zu überbewerten. D. h. hier wurde auch der E-Score zu 50 % berücksichtigt. Die Zusammensetzung des E-Scores für die 4 Kriterien wird in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

---

<sup>1</sup> Die gesamte Fläche, die von allen Anlagenteilen eingenommen wird. Stadtgrün-, Gründach- und Retentionsdachfläche werden nicht berücksichtigt. Ferner wird bei den HOB- und BR-Varianten mit Nutzung die Baumfläche nicht berücksichtigt.

<sup>2</sup> Der Kurzfristspeicherraum einer Anlage, der zur Starkregenretention und nicht zur Bewässerung von Stadtgrün zur Verfügung steht (Summe der Volumina aller Anlagenteile außer Nutz- und Mindestvolumen).

<sup>3</sup> Das Volumen, das von allen Anlagenteilen eingenommen wird (Mulden-, Boden-, Speichervolumen, davon Mindest-, Nutz- und Retentionsvolumen, Zisternenvolumen etc.). Stadtgrün wird nicht berücksichtigt.

<sup>4</sup> Der "kritische Abfluss" ist der "ungewünschte" finale Abfluss einer Anlage (final: bei gekoppelten Systemen der Abfluss am Ende einer Anlagen-Kette, z. B. nachgeschaltete HOB/BR). 1) Bei Anlagen mit gedrosselter Ableitung und ohne Versickerung: Wasser, das über den Überlauf der Anlage abfließt. 2) Bei Anlagen ohne Versickerung und ohne gedrosselte Ableitung: Wasser, das über den Überlauf der Anlage mit >2 L/s Durchfluss abfließt. 3) Bei Anlagen mit Versickerung: jegliches Wasser, das über den Überlauf der Anlage abfließt (Versagen der Anlage und Überstau).

	A	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1											
2		Gewichtung für Gesamtscore-Betrachtung:				Ausschlusskriterium Nutzung:	Alle Anlagen	Alle Anlagen	Alle Anlagen	Alle Anlagen	Alle Anlagen
3		Nutzung	100	<	>	Ausschlusskriterium Starkregenvorsorge:	Alle Anlagen	Alle Anlagen	Alle Anlagen	Alle Anlagen	Alle Anlagen
4		Starkregenvorsorge	100	<	>	Min. Verdunstung/Niederschlag / %:	0	0	0	0	0
5		Verdunstung	100	<	>	Min. Versickerung/Niederschlag / %:	0	0	0	0	0
6		Versickerung	100	<	>	Maximales Flächenverhältnis / m:	100	100	100	100	100
7						Max. Gesamttiefe / m:	100	100	100	100	100
8		Anleitung: Für die Sortierung der Anlagen anhand des Scorings in Spalte H bis M auf Pfeil in Zeile 12 klicken und Auswahl von "Nach Größe sortieren (absteigend)". Für Erläuterungen und Herleitung der Scores siehe Arbeitsblatt "Einstellungen".				Nur mit reinigender Bodenschicht:	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
9											
10											
11						Abkürzungen werden im Arbeitsblatt "Abkürzungen" erläutert					
12							Finaler Score = Effizienz-Score + Flächen-/Volumenverbrauch etc. normalisiert				
13	Rang	RWB-Anlagen	Zuordnung	Zielsetzung	Aufbau	NUTZUNG	STARKREGENVORSORGE	VERDUNSTUNG	VERSICKERUNG	NUTZUNG+STARKREGEN	GESAMTSCORE
14	1	01 Zisterne	RWB-N ohne RV	10 % TW	Dach - ZisterneNV10%	9.0	1.0	6.0	3.0	3.0	3.0
15	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N ohne RV	10 % TW	Dach - Zisterne(sm)NV10%	10.0	1.0	6.0	3.0	4.0	3.0
16	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	Dach - Zisterne(sm)NV10%RV100a	10.0	9.0	6.0	3.0	10.0	7.0
17	4	02 Muldenversickerung DZM	RWB	5a	Dach - Mulde5a (kN)	1.0	9.0	2.0	9.0	1.0	4.0
18	5	02 Muldenversickerung DZM	RWB+	100a	Dach - Mulde100a (kN)	1.0	10.0	2.0	9.0	1.0	4.0
19	6	02 Muldenversickerung DZM	RWB-N <sub>s</sub> ohne RV	5a + 10 % TW	Dach - ZisterneNV10% - Mulde5a	9.0	9.0	7.0	10.0	9.0	10.0
20	7	03 Rigole	RWB	5a	Dach - Rigole5a (kN)	1.0	9.0	1.0	10.0	1.0	4.0
21	8	03 Rigole	RWB+	100a	Dach - Rigole100a (kN)	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	4.0
22	9	03 Rigole	RWB-N ohne Retention	10 % TW	Dach - RigoleAbgNV10%	8.0	1.0	6.0	3.0	2.0	2.0
23	10	04 MRE	RWB ohne Drossel (mit Versickerung)	5a	Dach - MREMulde1a5a (kN)	1.0	7.0	1.0	10.0	1.0	3.0
24	11	04 MRE	RWB+ ohne Drossel (mit Versickerung)	100a	Dach - MREMulde20a100a (kN)	1.0	10.0	2.0	9.0	1.0	4.0
25	12	04 MRE	RWB-N <sub>s</sub>	5a + 10 % TW	Dach - MREAbgMulde1a5aDrossel - ZisterneNV10%	8.0	9.0	6.0	3.0	8.0	6.0
26	13	05 GD & RD	RWB ext. GD (Retentionszisterne nötig)	5a	GDext - ZisterneRV5a (kN)	1.0	9.0	4.0	1.0	1.0	1.0
27	14	05 GD & RD	RWB+ int. GD (Retentionszisterne nötig)	100a	GDint - ZisterneRV100a (kN)	1.0	10.0	6.0	1.0	1.0	2.0
28	15	05 GD & RD	RWB+ RD	100a	RD (kN)	1.0	9.0	5.0	1.0	1.0	1.0
29	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD ohne RV	10 % TW	GDext - ZisterneNV10% (5a nicht Zielsetzung)	4.0	8.0	9.0	3.0	4.0	5.0
30	17	05 GD & RD	RWB-N RD ohne RV	10 % TW	RD - ZisterneNV10% (5a nicht Zielsetzung)	2.0	10.0	10.0	3.0	4.0	6.0
31	18	06 HOB & BR	RWB	5a	Dach - HOB5a (59 bzw. 54 HOB)	1.0	9.0	3.0	10.0	1.0	5.0
32	19	06 HOB & BR	RWB+	100a	Dach - BR100a (46 bzw. 38 BR)	1.0	10.0	2.0	10.0	1.0	5.0
33	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	GDext - ZisterneNV10% - HOB (5a nicht Zielsetzung)	9.0	9.0	6.0	10.0	9.0	10.0

Abb. 3: Tool zur vergleichenden Bewertung verschiedener Regenwasserbewirtschaftungsanlagen.

GENERELLES			
Rigolenmaterial:	Kunststoff		
Untersuchungsgebiet:	Mittelwert		

VOLUMINA & FLÄCHEN			
Anlage	Tiefe / m	Standard / m	
Vorgesaltete Zisterne:	Standard		3
Zisterne hinter Grün-/Retentionsdach:	Standard		3
Zisterne hinter MRE:	Standard		2
Zisterne vor HOB/BR:	An Baum angepasst		3
Berücksichtigung von Grün-/Retentionsdach als RWB-Fläche:		Nein	
Berücksichtigung von Grün-/Retentionsdach als RWB-Volumen:		Ja	
Berücksichtigung der HOB/BR als RWB-Fläche (bei Anlagen mit Nutzung):		Nein	
Berücksichtigung der HOB/BR als RWB-Volumen (bei Anlagen mit Nutzung):		Ja	

WASSERHAUSHALT			
Berücksichtigung von Stadtgrün:	Ja		
Berücksichtigung von Dachverdunstung:	Ja		
Faktor auf Dachverdunstung:	1		
HOB und BR als Stadtgrün:	Nein		

AUSWAHLOPTIEN SCORING			
Nutzenvariante bei Steckbriefbetrachtung:	10 % TW-Nachspeisung		
Reinigende Bodenschicht:	Exkl. Grün-/Retentionsdach		
Scores auf ganze Zahlen gerundet:	Nein		

$$\text{Score} = \frac{(100 - G_{FV})}{100} \cdot E + \frac{G_{FV}}{100} \cdot FV$$
  

SCORING	
Niedrigster Score	1
Höchster Score	10

NUTZUNG			
Effizienz-Score E:	Ohne NV		1
Nutzen-Erfüllungsgrad	10 % TW-Nachspeisung		8
	9-von-10-Regel		9
	0 % TW-Nachspeisung		10
Gewichtung Flächen-/Volumenscore $G_{FV}$ / %			100
Flächen-/Volumenscore FV:	Nutzvolumen		

STARKREGENVORSORGE			
Effizienz-Score E:	Keine Starkregenvorsorge		1
Starkregenvorsorge- Erfüllungsgrad	(hier gilt kritischer Abfluss)		6
	5-Jahres-Regen		7
	100-Jahres-Regen		10
Gewichtung Flächen-/Volumenscore $G_{FV}$ / %			100
Flächen-/Volumenscore FV:	Kritischer Abfluss		

VERDUNSTUNG			
Effizienz-Score E:	Reine Verdunstung in $m^3$		
Gewichtung Flächen-/Volumenscore $G_{FV}$ / %			0
Flächen-/Volumenscore FV:	Fläche		

VERSICKERUNG			
Effizienz-Score E:	Reine Versickerung in $m^3$		
Gewichtung Flächen-/Volumenscore $G_{FV}$ / %			0
Flächen-/Volumenscore FV:	Fläche		

Abb. 4: Einstellungsmöglichkeiten im vergleichenden Bewertungstool.

### 1.3.2 Nutzung

Anlagen, die keine Nutzung des Niederschlagswassers ermöglichen, erhielten für diese Zielsetzung die schlechteste Bewertung von 1 Punkt zugeteilt. Bei Anlagen mit Nutzung wurde für den E-Score zwischen drei Stufen unterschieden: 0 % Trinkwassernachspeisung: 10 Punkte, 9-von-10-Regel: 9 Punkte, 10 % Trinkwassernachspeisung: 8 Punkte. Der FV-Score für die Zielsetzung der Nutzung einer Anlage kann im Tool auf die reine Fläche, das Nutzvolumen, das Gesamtvolumen oder das Verhältnis aus Nutzvolumen zum Gesamtvolumen bezogen werden.

### 1.3.3 Starkregenvorsorge

Bei Anlagen mit Starkregenvorsorge wurde für den E-Score zwischen drei Fällen unterschieden: RWB+ und RWB+N (100-Jahres-Regen): 10 Punkte, RWB und RWB-N<sub>5</sub> (5-Jahres-Regen): 7 Punkte. Anlagen ohne gezielte Starkregenvorsorge erhielten für diese Zielsetzung 1–6 Punkte anhand ihres kritischen Abflusses innerhalb der simulierten 10 Jahre. Der FV-Score für die Zielsetzung der Starkregenvorsorge einer Anlage kann im Tool auf die reine Fläche, das Retentionsvolumen, das Gesamtvolumen oder das Verhältnis aus Retentionsvolumen zum Gesamtvolumen bezogen werden. Durch eine Berücksichtigung des FV-Scores erhalten auch Anlagen mit einem festen E-Score einen variablen Score, sodass sie untereinander verglichen werden können.

### 1.3.4 Verdunstung

Für die Zielsetzung der Verdunstung wird im Tool für den E-Score die reine Verdunstungsmenge in  $m^3$  innerhalb der simulierten 10 Jahre betrachtet, die eine Anlage leistet. Das Ergebnis ist ein normalisierter Score, welcher der Anlage mit der höchsten Verdunstung 10 Punkte und der mit der niedrigsten 1 Punkt bereitet.

Wie bei den Grün- und Retentionsdächern erfolgt auch durch das ansonsten herangezogene Flachdach eine Verdunstung (Abflussbeiwert 0,8). Bei den Anlagen, die an das Flachdach angeschlossen sind, kann im Tool dessen Verdunstungsmenge der Gesamtverdunstung die-

ser Anlagen hinzuaddiert werden. Dadurch wird ein Vergleich mit den Grün- und Retentionsdächern möglich. Auf Wunsch kann diese Berücksichtigung im Tool aber auch abgeschaltet werden, dann wird nur die Verdunstung des Grün- und Retentionsdachs, die über die Verdunstung des Flachdachs hinausgeht, berücksichtigt. Im Rahmen der Ergebnisbetrachtung dieser Arbeit wurde sämtliche Verdunstung der Dächer berücksichtigt.

Das Tool sieht ferner die Möglichkeit vor, dass jeglicher Dachverdunstung ein Reduktionsfaktor beigemessen wird, um der Tatsache Sorge zu tragen, dass Verdunstung auf Dächern einen anderen Einfluss auf das Mikroklima hat als RWB-Anlagen auf Bodenhöhe. Im Rahmen der Ergebnisbetrachtung dieser Arbeit wurde der Faktor der Einfachheit halber zu 1 gewählt (kein Unterschied zu Anlagen auf Bodenhöhe).

Zudem kann im Tool eingestellt werden, ob die Verdunstung des Stadtgrüns berücksichtigt werden soll oder nicht. Letzteres ist z. B. dann sinnvoll, wenn davon ausgegangen wird, dass das Stadtgrün auch bei Anlagen, die nur zur Starkregenvorsorge und nicht zur Nutzung vorgesehen sind, vorliegt und dieses komplett über Trinkwasser bewässert wird. Im Rahmen der Ergebnisbetrachtung dieser Arbeit wurde das Stadtgrün hier mitbetrachtet. Der FV-Score kann im Tool rein auf die benötigte Fläche bezogen werden.

### **1.3.5 Versickerung**

Die Versickerungsleistung als E-Score der Anlagen wird im Tool nach demselben Prinzip wie bei der Verdunstung bewertet. Anhand der reinen Versickerungsmenge in m<sup>3</sup> innerhalb der simulierten 10 Jahre wird den Anlagen ein normalisierter Score zugeteilt. Die Anlage mit der höchsten Versickerungsmenge erhält 10 Punkte und die mit der niedrigsten Versickerungsmenge erhält 1 Punkt.

Ferner kann wie für das Kriterium Verdunstung im Tool eingestellt werden, ob die Versickerung des Stadtgrüns berücksichtigt werden soll oder nicht. Im Rahmen der Ergebnisbetrachtung dieser Arbeit wurde das Stadtgrün berücksichtigt. Der FV-Score kann im Tool rein auf die benötigte Fläche bezogen werden.

### **1.3.6 Starkregenvorsorge und Nutzung**

Die Kombination aus den tendenziell widersprüchlichen Zielsetzungen der Starkregenvorsorge und der Nutzung von Niederschlagswasser kann als interessante Zielsetzung zusätzlich betrachtet werden, um mögliche Synergien zu untersuchen. Verfügt eine Anlage über keine Nutzung des Niederschlagswassers, erhält sie hier automatisch die Mindestpunktzahl 1, auch wenn sie bei der Starkregenvorsorge gut abschneidet. Für Anlagen mit Nutzung werden die jeweiligen Scores für Nutzung und Starkregenvorsorge addiert. Anschließend werden die erreichten Punkte normiert (gescored), allerdings erstreckt sich die Skala von 2 bis 10, da 1 für die Anlagen ohne Nutzen vorgehalten ist.

### **1.3.7 Gesamtscore**

Der Gesamtscore addiert die Einzel-Scores der Zielsetzungen *Nutzung*, *Starkregenvorsorge*, *Verdunstung* und *Versickerung* und setzt sie entsprechend der gewählten Gewichtungen (s. Regelschieber in Abb. 3 links oben) ins Verhältnis zueinander. Dabei kann für jede Zielsetzung der Grad ihrer Gewichtung (0–100 %) zur Gesamtbewertung separat geregelt werden. Dadurch lassen sich weitere Kombinationen von Zielsetzungen untersuchen. Bei dieser Analyse werden Anlagen bei Berücksichtigung der Nutzung nicht automatisch mit einem Score von 1 belegt, wenn sie keine Anlage mit Nutzung sind.

### 1.3.8 Weitere Analyseoptionen

Für jede einzelne Zielsetzung und Kombination des Gesamtscores können zusätzlich noch folgende Einstellungen vorgenommen werden (in Abb. 3 Auswahlmöglichkeiten rechts oben):

- Spezifischer Ausschluss von Anlagen mit bestimmter Nutzungsvariante oder Zielsetzung der Starkregenvorsorge in der Auflistung (z. B. nur Betrachtung von Anlagen mit 10 % Trinkwassernachspeisung und 5-Jahres-Starkregenvorsorge, oder nur Betrachtung von Anlagen mit Nutzenfunktion oder Anlagen zur Starkregenvorsorge, oder Ausschluss von Anlagen mit Nutzenfunktion).
- Festlegung des maximalen Verhältnisses aus Flächenbedarf der Anlage und der angeschlossenen 2500 m<sup>2</sup> Dachfläche (damit können Anlagen mit zu hohem Flächenbedarf im Vorhinein ausgeschlossen werden).
- Vorgabe eines Mindestanteils an Verdunstung und/oder Versickerung des auf die Dachfläche auftreffenden Niederschlagswassers (damit können Anlagen mit zu wenig Verdunstung/Versickerung im Vorhinein ausgeschlossen werden, sofern speziell nach Anlagen für diese Zielsetzung gesucht wird).
- Vorgabe einer maximalen Gesamttiefe<sup>5</sup> (speziell für Zisternen ist es im Tool möglich eine Zisternentiefe einzustellen, womit sich auch die Zisternenfläche verändert).
- Ausschluss von Anlagen ohne reinigende Bodenschicht (falls nur Anlagen mit reinigender Bodenschicht betrachtet werden sollen, optional können Gründächer hiervon ausgeschlossen werden).

Alle Untersuchungen können im Tool separat auf die Modellgebiete Berlin und Köln oder deren Mittelwert in den Ergebnissen bezogen werden. Im Rahmen der nachfolgenden Ergebnisbetrachtung wird auf den Mittelwert eingegangen. Für eine allgemeine Einordnung der Anlagen ist das hinreichend. Für die Anwendung in der Praxis sollten die Untersuchungen jedoch auf der Datengrundlage und der Auslegung anhand des spezifischen Untersuchungsstandortes basieren.

Ferner kann eingestellt werden, ob die Rigole und das MRE in Form von Kunststofffüllkörpern oder als Kieskörper vorliegen. In der Ergebnisbetrachtung dieser Arbeit wurde die Kunststofffüllkörpervariante betrachtet.

## 1.4 Ergebnisse

### 1.4.1 Übersicht

Im Fokus der Untersuchung standen folgende Zielkriterien bzw. deren Kombination:

- a. Nutzung
- b. Starkregenvorsorge
- c. Verdunstung
- d. Versickerung
- e. Nutzung + Starkregenvorsorge
- f. Gesamtscore bei gleichmäßiger Gewichtung

---

<sup>5</sup> Die Gesamttiefe beschreibt die gesamte Eindringtiefe in den Boden, die eine Regenwasserbewirtschaftungsanlage im Ganzen benötigt. Bei gekoppelten Systemen wird eine Gesamttiefe individuell berechnet.

Auf diese wird im Folgenden eingegangen. Eine Übersicht über Daten, die ins Scoring einfließen (Daten zu Flächenbedarf, Gesamtvolumen, Nutzvolumen, Retentionsvolumen, kritischer Abfluss, Verdunstung, Versickerung, Direktabfluss) sind in Tab. 3 für jede der 20 Varianten aufgelistet.

Tab. 3: Flächen, Volumina und Wasserbilanzwerte aller Anlagenversionen für den Zeitraum 2014–2023.

Nr.	Flächenbedarf [m <sup>2</sup> ]	Gesamtvolumen [m <sup>3</sup> ]	Nutzvolumen [m <sup>3</sup> ]	Retentionsraum [m <sup>3</sup> ]	Verdunstung [m <sup>3</sup> ]	Verdunstung/Niederschlag	Versickerung [m <sup>3</sup> ]	Versickerung/Niederschlag	Direktabfluss [m <sup>3</sup> ]	Direktabfluss/Niederschlag	Kritischer Abfluss [m <sup>3</sup> ]
1	38	115	111	0	12217	76,4	2488	15,6	10299	64,4	1995
2	34	103	100	0	12217	76,4	2488	15,6	10299	64,4	1995
3	89	267	165	93	12217	76,4	2488	15,6	10072	63,0	25
4	169	135	0	135	4397	27,5	12634	79,0	33	0,2	33
5	344	275	0	275	5634	35,2	12509	78,2	0	0,0	0
6	233	325	184	135	13210	82,6	12617	78,9	15	0,1	15
7	54	71	0	71	3194	20,0	13072	81,7	73	0,5	73
8	103	134	0	134	3194	20,0	13448	84,1	0	0,0	0
9	178	232	214	0	12465	77,9	2488	15,6	10913	68,2	2283
10	102	91	0	91	3901	24,4	12712	79,5	506	3,2	506
11	239	185	0	185	4822	30,1	12682	79,3	0	0,0	0
12	214	326	212	103	12957	81,0	2488	15,6	9861	61,7	169
13	15	406	0	406	9080	56,8	0	0,0	6849	42,8	68
14	20	923	0	923	12458	77,9	0	0,0	3350	20,9	0
15	0	543	0	543	10550	66,0	0	0,0	5421	33,9	29
16	131	756	380	363	18103	113,2	2488	15,6	4136	25,9	340
17	210	1171	608	543	19572	122,4	2488	15,6	2967	18,6	0
18	509	788	0	788	6271	39,2	12929	80,8	8	0,0	8
19	378	869	0	869	5496	34,4	12893	80,6	0	0,0	0
20	127	433	184	237	11772	73,6	12886	80,6	117	0,7	117

Bei Rigole und MRE: Bezug auf Kunststoffrigole. Niederschlag über der 2500 m<sup>2</sup> Auffangfläche im Mittel: 15994 m<sup>3</sup>. Stadtgrün im Mittel: 9023 m<sup>3</sup> Verdunstung und 2488 m<sup>3</sup> Versickerung. Anlagen mit Nutzung: nur 9-von-10-Regel angezeigt. Für Zuordnung zu den Anlagen siehe Tab. 2.

## 1.4.2 Nutzung

In Tab. 4 oben sind beispielhaft für den Vergleich des Nutzung-Kriteriums die ersten 10 Ränge gemäß Zielbetrachtung 1 aufgelistet. Da die Ergebnisse hier lediglich nach dem Nutzvolumen sortiert sind (je geringer, desto höher der Score), spiegelt sich in dieser Rangliste lediglich Tab. 5 wider. Diese Tabelle listet die erforderlichen Nutzvolumina aller untersuchten Anlagen mit Nutzenfunktion separat für Berlin und für Köln auf. So fällt beispielsweise das erforderliche Zisternenvolumen, wenn einem intensiven Gründach oder einem Retentionsdach nachgeschaltet, für Berlin (320–1733 m<sup>3</sup>) wesentlich größer aus als für Köln (254–406 m<sup>3</sup>). Dies liegt daran, dass die Bodenschichten der Dächer wie in der Praxis unabhängig von den Standorten vordimensioniert wurden und dies dazu führte, dass die ohnehin geringe Niederschlagsmenge in Berlin durch eine überdimensionierte Bodenschicht vermehrten Verdunstungsverlusten unterlag. Ein Scoring hinsichtlich Nutzung bei Berücksichtigung des erforderlichen Nutzvolumens würde hier folglich für beide Standorte sehr unterschiedliche Ergebnisse liefern.

Interessanter ist da die Betrachtung mit Einfluss des Flächenbedarfs in Tab. 4 unten und Zielbetrachtung 2, also unter Berücksichtigung des E- und FV-Scores. Mit steigender Rangnummer zeigt sich hier der Einfluss des Flächenbedarfs der Anlagen zunehmend. So werden auf den ersten Rängen die 3 Varianten der Zisterne aufgeführt, da diese einen sehr geringen Flächenbedarf aufweisen. Der Einfluss des Flächenbedarfs spiegelt sich auch eindrücklich beim nächsten Rang wider, welcher vom HOB (RWB-N) belegt wird, dessen Fläche nicht berücksichtigt wird, da sie zum Stadtgrün gehört. Interessant ist auch das relativ gute Abschneiden

des extensiven Gründachs, dessen nachgeschaltete Zisterne sehr groß bemessen werden muss. Hier erhöht die nicht berücksichtigte Fläche des Gründachs den Score. Die Flächenvorteile der Zisterne ergeben sich in dieser Betrachtung auch wegen der festgelegten Zisternenhöhe von 3 m. Bei einer Ausführung der Zisternendimensionierung in die Höhe statt in die Fläche, würde diese Zuordnung nicht mehr funktionieren und es müsste beispielsweise das benötigte Gesamtvolumen zur Bewertung herangezogen werden. Interessant ist auch das relativ gute Abschneiden der abgedichteten Rigole als Speicherraum (Rang 6). Die abgedichtete Rigole weist zwar, wenn als Boxsystem ausgeführt, „nur“ einen Leerraumanteil von 90 % auf, ihr Vorteil des zusätzlichen Zulaufs über Niederschlag, der direkt auf sie fällt, bei gleichzeitig geringer Verdunstung, wenn ohne Bewuchs an der Oberfläche ausgeführt, macht ihr erforderliches Volumen konkurrenzfähig zur Zisterne.

Tab. 4: Verteilung der ersten 10 Ränge: Nutzung-Kriterium, Zielbetrachtung 1 (oben) und Zielbetrachtung 2 (unten). Anlagen mit Nutzung: Nur für 10 % Trinkwassernachspeisung.

Rang	Nr.	Steckbrief	Zuordnung	Zielsetzung	Score
1	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N	10 % TW	10,0
2	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	10,0
3	1	01 Zisterne	RWB-N	10 % TW	9,0
4	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	9,0
5	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	9,0
6	9	03 Rigole	RWB-N	10 % TW	8,0
7	12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	8,0
8	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	10 % TW	4,0
9	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	2,0
10	4	02 Mulde	RWB	5a	1,0
1	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N	10 % TW	10,0
2	1	01 Zisterne	RWB-N	10 % TW	10,0
3	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	9,7
4	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	9,6
5	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	10 % TW	9,3
6	9	03 Rigole	RWB-N	10 % TW	9,3
7	12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	8,6
8	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	8,5
9	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	8,2
10	4	02 Mulde	RWB	5a	1,0

Tab. 5: Nutzvolumen in m<sup>3</sup> aller untersuchten Anlagen mit Nutzenfunktion (TW: Trinkwassernachspeisung, R.: Regel).

Steckbrief	Zuordnung	10 % TW	9-von-10-R.	0 % TW
<b>Berlin</b>				
01 Zisterne	Alle Varianten mit Nutzung	116	222	250
01 Zisterne (smart)	Alle Varianten mit Nutzung	104	200	225
02 Mulde	Alle Varianten mit Nutzung	116	222	250
03 Rigole	Alle Varianten mit Nutzung	132	251	281
04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	129	257	281
05 GD und RD	Extensives Gründach	320	451	521
	Intensives Gründach	1420	1632	1733
	Retentionsdach	735	860	1048
06 HOB und BR	Alle Varianten mit Nutzung	116	222	250
<b>Köln</b>				
01 Zisterne	Alle Varianten mit Nutzung	106	145	209
01 Zisterne (smart)	Alle Varianten mit Nutzung	95	131	188
02 Mulde	Alle Varianten mit Nutzung	106	145	209
03 Rigole	Alle Varianten mit Nutzung	117	177	236
04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	118	167	228
05 GD und RD	Extensives Gründach	254	309	406
	Intensives Gründach	309	404	406
	Retentionsdach	290	356	406
06 HOB und BR	Alle Varianten mit Nutzung	106	145	209

### 1.4.3 Starkregenvorsorge

Tab. 6 oben listet die ersten 10 Ränge hinsichtlich des Kriteriums Starkregenvorsorge nach der Zielbetrachtung 1 auf. Diese Zielbetrachtung beruht lediglich auf der Sortierung der Anlagen gemäß der kritischen Abflussmenge. Bis einschließlich Rang 6 sind Anlagen aufgelistet, die einen kritischen Abfluss von 0 aufweisen. Die Ränge 1–6 sind folglich bei dieser Betrachtung untereinander austauschbar und gehören zu den Anlagen mit der ausgeprägtesten und zuverlässigsten Starkregenvorsorge.

Tab. 6 unten hingegen erlaubt eine differenziertere Betrachtung. Hier werden der E-Score und der Flächenscore zu jeweils 50 % berücksichtigt. Durch die stärkere Gewichtung des Rückhalts eines 100-Jahres-Regens gegenüber dem Rückhalt eines 5-Jahres-Regens und der weiteren Einteilung der Anlagen hat der Flächenbedarf jedoch einen geringeren Einfluss auf die Punktzahl. Daher werden die ersten 4 Ränge ausschließlich von RWB+- bzw. RWB+N-Anlagen belegt. Erst dann beginnt eine Mischung der Anlagenplatzierung entsprechend ihrem Flächenbedarf. Dabei schneiden teilweise auch Anlagen mit Auslegung auf einen 5-Jahres-Regen besser ab als solche mit Auslegung auf einen 100-Jahres-Regen, da sie platzsparender sind.

Weiterhin ist anzumerken, dass die ersten zwei Ränge von einem Retentionsdach und einem intensiven Gründach belegt werden, gefolgt von der smarten Retentionszisterne (RWB+N) und der Rigole (RWB+). Anlagen auf dem Dach haben den Vorteil, dass nur der Flächenbedarf einer optional vorhandenen Zisterne gewertet wird, weshalb sie sehr gute FV-Scores erhalten. Das Retentionsdach auf Rang 1 benötigt zum Rückhalt eines 100-Jahres-Regens keine zusätzliche nachgeschaltete Retentionszisterne und wird daher mit einem Flächenbedarf von 0 m<sup>2</sup> angesetzt. Damit zeigen sich Retentionsdächer und intensive Gründächer als besonders leistungsstarke Optionen zur Starkregenvorsorge, wenn wenig oder kein Platz zur Verfügung steht.

Hinsichtlich Zielbetrachtung 2 wird bei der Bewertung von Anlagen, die für einen 5- und einen 100-Jahres-Regen ausgelegt wurden, der kritische Abfluss nicht beachtet. Bei der Zisterne

werden aber kritische Abflüsse innerhalb der simulierten 10 Jahre, auch wenn deren Retentionsvolumen auf einen 100-Jahres-Regen ausgelegt wurde, festgestellt (bei der RWB+N-Variante Mittelwert aus Berlin und Köln für die simulierten 10 Jahre: 25 m<sup>3</sup>). Hier besteht die Retentionszisterne folglich durch ihren geringen Flächenbedarf.

Gekoppelte Anlagen wurden hinsichtlich Nutzung und Starkregenvorsorge immer separat dimensioniert. Bei der Variante, bei der beispielsweise eine Muldenversickerung einer Zisterne nachgeschaltet ist, wurde die Muldenversickerung so bemessen, als wäre die vorgeschaltete Zisterne vollständig gefüllt. Die Modellierungen ergaben jedoch, dass innerhalb der simulierten 10 Jahren bei den stärksten Regenereignissen meist zusätzliches freies Nutzvolumen zur Verfügung stand, die Muldenversickerung also kleiner hätte dimensioniert werden können. Solche gekoppelten Anlagen könnten bei kleinerer Dimensionierung folglich auch im Scoring besser abschneiden.

Tab. 6: Verteilung der ersten 10 Ränge: Starkregenvorsorge-Kriterium, Zielbetrachtung 1 (oben) und Zielbetrachtung 2 (unten). Anlagen mit Nutzung: Nur für 10 % Trinkwassernachspeisung.

Rang	Nr.	Steckbrief	Zuordnung	Zielsetzung	Score
1	5	02 Mulde	RWB+	100a	10,0
2	8	03 Rigole	RWB+	100a	10,0
3	11	04 MRE	RWB+	100a	10,0
4	14	05 GD & RD	RWB+ int. GD	100a	10,0
5	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	10,0
6	19	06 HOB & BR	RWB+ BR	100a	10,0
7	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	9,0
8	4	02 Mulde	RWB	5a	9,0
9	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	9,0
10	7	03 Rigole	RWB	5a	9,0
1	15	05 GD & RD	RWB+ RD	100a	10,0
2	14	05 GD & RD	RWB+ int. GD	100a	9,7
3	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	9,1
4	8	03 Rigole	RWB+	100a	8,6
5	13	05 GD & RD	RWB ext. GD	5a	7,6
6	7	03 Rigole	RWB	5a	7,0
7	11	04 MRE	RWB+	100a	6,8
8	10	04 MRE	RWB	5a	6,4
9	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	5,8
10	12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	5,5

#### 1.4.4 Verdunstung

Bei der Verdunstungsbetrachtung stellen sich die Grün- und Retentionsdächer als besonders stark heraus. So werden, unabhängig ob nach Zielbetrachtung 1 (Tab. 7 oben) oder 2 (Tab. 7 unten) die ersten Ränge ausschließlich von Anlagen auf Dächern belegt. Dies ist naheliegend, da diese Anlagen über große Flächen mit hohem Potential zur Verdunstung verfügen. Das gute Abschneiden dieser Anlagen ist vor allem vor dem Hintergrund interessant, da bei Zielbetrachtung 1 die nicht berücksichtigte Fläche der Grün- und Retentionsdächer keine Rolle spielt. An dieser Stelle sei jedoch angemerkt, dass die Verdunstung von Dachflächen anders

zum Mikroklima beiträgt als RWB-Anlagen auf Bodenhöhe (z. B. Bäume und Muldenversickerung). Eine differenziertere (hier nicht durchgeführte) Betrachtung hinsichtlich mikroklimawirksamer Verdunstung könnte hier also andere Ergebnisse bewirken.

Ebenfalls finden sich bei diesem Kriterium Anlagen wie die Muldenversickerung und das Mulden-Rigolen-Element. Dies sind beides Anlagen, die durch große bewachsene Flächen und damit durch viel Verdunstung punkten. In der Auflistung findet sich aufgrund der Verdunstung des bewässerten Stadtgrüns sogar die RWB-N-Rigole wieder, obwohl Rigolen selbst nur geringe Verdunstungsmengen generieren.

Erstaunlich erscheint auch das gute Abschneiden von Zisternen für das Zielkriterium der Verdunstung, da sie selbst keine Verdunstungsleistung aufweisen. Sie leisten nur über das bewässerte Stadtgrün einen Beitrag zur Verdunstung – die Verdunstung über die Dachfläche ist bei allen Anlagen gleich (beim Grün- und Retentionsdach sogar noch höher). Durch den geringen Flächenbedarf der Anlage selbst schneiden sie aber mit breiter Vertretung im oberen Bereich gut im Scoring ab.

Tab. 7: Verteilung der ersten 10 Ränge: Verdunstung-Kriterium, Zielbetrachtung 1 (oben) und Zielbetrachtung 2 (unten). Anlagen mit Nutzung: Nur für 10 % Trinkwassernachspeisung.

Rang	Nr.	Steckbrief	Zuordnung	Zielsetzung	Score
1	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	10,0
2	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	10 % TW	9,2
3	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	6,5
4	12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	6,4
5	14	05 GD & RD	RWB+ int. GD	100a	6,1
6	9	03 Rigole	RWB-N	10 % TW	6,0
7	1	01 Zisterne	RWB-N	10 % TW	6,0
8	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N	10 % TW	6,0
9	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	6,0
10	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	5,7
1	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	10 % TW	10,0
2	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	9,6
3	14	05 GD & RD	RWB+ int. GD	100a	8,9
4	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N	10 % TW	8,6
5	1	01 Zisterne	RWB-N	10 % TW	8,6
6	15	05 GD & RD	RWB+ RD	100a	8,4
7	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	8,3
8	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	8,0
9	9	03 Rigole	RWB-N	10 % TW	7,9
10	13	05 GD & RD	RWB ext. GD	5a	7,7

Es ist auffällig, dass die HOB- und BR-Anlagen nicht auf den höchsten Rängen abschneiden. Trotz der zusätzlichen Wassermengen, die den HOB (Teil des Stadtgrüns) über den Überlauf der vorgeschalteten Zisterne zufließen (im üblichen Stadtgrün erhält der Stadtbaum nur das bewässerte Wasser und den direkten Niederschlag), gibt es keinen Mehrwert an Verdunstung. Schließlich versickert der größte Anteil des über den Zisternenüberlauf zufließenden Wassers über den HOB.

### 1.4.5 Versickerung

Hinsichtlich Versickerung können vor allem die speziell auf Versickerung ausgelegten Anlagen wie Rigole, HOB, BR, MRE und Muldenversickerung punkten (Tab. 8). Vor allem die Rigolen-Varianten gehören zu den Anlagen mit den höchsten Versickerungsleistungen insgesamt, da aus einer Rigole nur wenig Verdunstung erfolgt.

Hinsichtlich des guten Abschneidens des HOB- & BR-Steckbriefs sei angemerkt, dass bei den HOB/BR-Varianten mit Nutzung die Bäume zwar zum Stadtgrün gezählt werden, durch den zusätzlichen Überlauf über die vorgeschaltete Zisterne auf die Bäume, diese jedoch mehr Wasser zur Verfügung haben und so mehr zu versickern im Stande sind. Das bedeutet: Auch wenn die HOB/BR-Flächen dem Stadtgrün zugeordnet werden, wird der zusätzliche Beitrag zur Versickerung – verglichen mit konventionell bewässertem Stadtgrün – bei der Bewertung mitberücksichtigt.

Die Varianten des MRE schneiden gut ab, liegen aber durch ihren hohen Flächenbedarf und durch ihre höhere Verdunstungsleistung nicht auf den vorderen Rängen der Rangliste. Es ist auffällig, dass Anlagen auf Dächern hier mit am schlechtesten abschneiden. Das liegt daran, dass bei Grün- und Retentionsdächern über die RWB-Anlage selbst keine Versickerung erfolgt, da das Niederschlagswasser entweder verdunstet oder abgeleitet bzw. zur Bewässerung genutzt wird. Daher weisen Grün- und Retentionsdächer ohne Nutzung 0 m<sup>3</sup> Versickerungsanteil auf.

Tab. 8: Verteilung der ersten 10 Ränge: Versickerung-Kriterium, Zielbetrachtung 1 (oben) und Zielbetrachtung 2 (unten). Anlagen mit Nutzung: Nur für 10 % Trinkwassernachspeisung.

Rang	Nr.	Steckbrief	Zuordnung	Zielsetzung	Score
1	8	03 Rigole	RWB+	100a	10,0
2	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	9,8
3	7	03 Rigole	RWB	5a	9,7
4	18	06 HOB & BR	RWB HOB	5a	9,7
5	19	06 HOB & BR	RWB+ BR	100a	9,6
6	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	9,6
7	10	04 MRE	RWB	5a	9,5
8	11	04 MRE	RWB+	100a	9,5
9	4	02 Mulde	RWB	5a	9,5
10	5	02 Mulde	RWB+	100a	9,4
1	7	03 Rigole	RWB	5a	10,0
2	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	9,6
3	8	03 Rigole	RWB+	100a	9,4
4	10	04 MRE	RWB	5a	8,9
5	4	02 Mulde	RWB	5a	7,7
6	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	7,2
7	11	04 MRE	RWB+	100a	6,6
8	5	02 Mulde	RWB+	100a	4,6
9	19	06 HOB & BR	RWB+ BR	100a	4,3
10	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N	10 % TW	3,5

### 1.4.6 Nutzung und Starkregenvorsorge

In Tab. 9 werden die Anlagen, die die höchsten Synergien bzgl. Wassernutzung (geringstes Nutzvolumen) und Starkregenvorsorge (geringster kritischer Abfluss) aufweisen nach Zielbetrachtung 1 aufgelistet. Keine Anlage an den oberen Rängen weist hier die volle Punktzahl auf (d. h. geringstes Nutzvolumen und geringster kritischer Abfluss aller Anlagen). So weist die smarte Retentionszisterne auf Rang 1 zwar das geringste aller Nutzvolumina, aber auch einen kleinen kritischen Abfluss  $>0 \text{ m}^3$ , auf. Die in der Tab. 9 oben nachfolgende Muldenversickerung mit vorgeschalteter Zisterne weist keinen kritischen Abfluss auf, dafür liegt das Nutzvolumen der Zisterne leicht höher als das der smarten Retentionszisterne. Grundsätzlich werden bei dieser Zielbetrachtung verschiedenste Anlagen wie Zisterne, Mulde, MRE, Grün- und Retentionsdach, HOB und Rigole gefunden.

Bei der Zielbetrachtung 2 (Tab. 9 unten) erhalten die Anlagen die höchste Punktzahl, die einen 100-Jahres-Regen aufnehmen können und zudem den Nutzwasserbedarf zu 100 % über das gespeicherte Niederschlagswasser decken. Der Übersicht halber werden aber nur solche Anlagen mit Nutzung, deren Bewässerungsbedarf mit 10 % Trinkwasser gedeckt wird, angezeigt. In ihrer Platzierung unterscheiden sich die Anlagen schließlich anhand ihres benötigten Flächenbedarfs. Hier zeigt sich die smarte Retentionszisterne als klarer Sieger, da sie beide Zielsetzungen auf minimalem Raum erfüllt.

Tab. 9: Verteilung der ersten 10 Ränge: Nutzung+Starkregenvorsorge-Kriterium, Zielbetrachtung 1 (oben) und Zielbetrachtung 2 (unten). Anlagen mit Nutzung: Nur für 10 % Trinkwassernachspeisung.

Rang	Nr.	Steckbrief	Zuordnung	Zielsetzung	Score
1	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	10,0
2	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	9,2
3	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	9,2
4	12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	8,4
5	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	10 % TW	4,4
6	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	4,4
7	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N	10 % TW	3,6
8	1	01 Zisterne	RWB-N	10 % TW	2,8
9	9	03 Rigole	RWB-N	10 % TW	2,0
10	4	02 Mulde	RWB	5a	1,0
1	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	10,0
2	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	6,4
3	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	10 % TW	5,4
4	12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	5,1
5	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	4,1
6	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	4,1
7	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N	10 % TW	4,1
8	1	01 Zisterne	RWB-N	10 % TW	4,0
9	9	03 Rigole	RWB-N	10 % TW	2,0
10	4	02 Mulde	RWB	5a	1,0

### 1.4.7 Gesamtscore

In der Gesamtbewertung unter Berücksichtigung aller vier Grundziele der *Nutzung*, *Starkregenvorsorge*, *Verdunstung* und *Versickerung* schneiden unabhängig von der Zielbetrachtung die Varianten mit Nutzung der Muldenversickerung, des HOB und der smarten Zisterne am besten ab (Tab. 10). Aber vor allem auch das Retentionsdach, extensive Gründach und das Mulden-Rigolen-Element erweisen sich als gute Generalisten.

Tab. 10: Verteilung der ersten 10 Ränge: Gesamt-Kriterium, Zielbetrachtung 1 (oben) und Zielbetrachtung 2 (unten). Anlagen mit Nutzung: Nur für 10 % Trinkwassernachspeisung.

Rang	Nr.	Steckbrief	Zuordnung	Zielsetzung	Score
1	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	10,0
2	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	9,7
3	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	6,9
4	12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	6,2
5	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	5,5
6	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	10 % TW	5,1
7	19	06 HOB & BR	RWB+ BR	100a	4,7
8	5	02 Mulde	RWB+	100a	4,6
9	11	04 MRE	RWB+	100a	4,4
10	18	06 HOB & BR	RWB HOB	5a	4,4
1	20	06 HOB & BR	RWB-N HOB	10 % TW	10,0
2	6	02 Mulde	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	9,0
3	3	01 Zisterne (smart)	RWB+N	100a + 10 % TW	8,0
4	17	05 GD & RD	RWB-N RD	10 % TW	8,0
5	16	05 GD & RD	RWB-N ext. GD	10 % TW	7,0
6	12	04 MRE	RWB-N <sub>5</sub>	5a + 10 % TW	6,0
7	1	01 Zisterne	RWB-N	10 % TW	5,0
8	2	01 Zisterne (smart)	RWB-N	10 % TW	5,0
9	8	03 Rigole	RWB+	100a	5,0
10	7	03 Rigole	RWB	5a	4,0