

## Deckung des Wasserbedarfs der Schwammstadt im Sommer

Stephan Köster und Maike Beier

### 1. Einleitung

Das Stadtklima verändert sich vielerorts wahrnehmbar. Wetterextreme nehmen zu und Städte gelten in diesem Zusammenhang als besonders vulnerable Räume. Die Prognosen zur Klimaentwicklung in Städten sind dabei immer in lokalen Kontexten zu bewerten. In welcher Klimazone liegt die Stadt? Welche Wetterextreme traten bereits auf bzw. sind für die Zukunft zu erwarten? Allgemein festzuhalten ist, dass der Klimawandel mit seinen Extremen Städte erheblich treffen wird und aus diesem Grund die Entwicklung und Einrichtung klimaangepasster und resilienter Städte unabwendbar sind.

Die Entwicklung einer Schwammstadt gilt als zukunftsweisendes Leitbild für eine klimaangepasste Stadt. Zuletzt in 2022, einem Jahr, das durch einen europaweiten Dürre- und Hitzesommer geprägt war, konnte man zahlreichen Artikeln in populären Medien die Forderung entnehmen, Städte zu Schwammstädten zu transformieren. Konkret bedeutet dies eine Hinwendung zu entsiegelten, wasserspeichernden, multifunktionalen und multi-materiellen Strukturen einschließlich der Ausstattung mit viel Stadt- und Gebäudegrün sowie die Erhaltung urbaner Gewässer. Alle diese geforderten blau-grünen Elemente und die sich daraus ergebenden Infrastrukturen werden im Konzept der Schwammstadt zusammengeführt. Nicht nur in Deutschland waren bisher vorrangig Starkregenbewältigung und Überflutungsvorsorge im Blickfeld. Der mit einer Schwammstadtentwicklung einhergehende Paradigmenwechsel im Hinblick auf den Umgang mit Wasser in der Stadt geht über die zu gewährleistende schadensfreie Ableitung deutlich hinaus. Eine Schwammstadt mit funktionsfähigem, ihre Resilienz stärkendem blau-grünen Inventar hat zwangsläufig einen höheren Wasserbedarf als eine durch Versiegelung geprägte klassische Stadtbebauung. Die blau-grüne Schwammstadt benötigt zum Funktionserhalt Wasser und ihr Wasserbedarf ist insbesondere in Hitze- und Dürreperioden ausgeprägt. Weitere urbane Entwicklungen, die ebenfalls durch den Klimawandel beeinflusst bzw. induziert werden, wie bspw. urbane Landwirtschaft, gezielte Maßnahmen zur Stadtkühlung oder Staubkontrolle sind hier in der Gesamtplanung ebenfalls zu berücksichtigen. In der Gesamtschau erhöht sich der städtische Wasserbedarf signifikant (Köster 2021). Daher verwundert es, dass der urbanen bzw. dezentralen Regenwasserbewirtschaftung in der Schwammstadt im Sinne einer Kreislaufführung bisher eher wenig Aufmerksamkeit gewidmet wird. Dabei ist sie ein zentraler Baustein, um die Verfügbarkeit von Wasser in der Stadt bei gleichzeitiger Entlastung der Trinkwasserversorgung spürbar zu erhöhen. Soll die Transformation städtischer Quartiere gelingen, muss die Wasserbereitstellung intensiver betrachtet und infrastrukturell sowie organisatorisch ausgestaltet werden.

Ein steigender städtischer Wasserbedarf kann und sollte nicht mit dem vorhandenen hochqualitativen (Trink-)Wasserangebot gedeckt werden. Vielmehr läuft es bei der zukünftigen städtischen Wasserversorgung auf einen Dreiklang im Sinne einer *urban circular water economy* hinaus, bestehend aus den Komponenten Trinkwasserversorgung sowie weiteren Versorgungskomponenten aus Regenwasser und aufbereitetem Abwasser, vgl. auch (Sauvé et al. 2021; Ebissa und Desta 2022). Nicht nur das diesjährige ÖWAV-/TU Wien-Seminar „Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser“ zeigt, dass die Wiedernutzung von Abwasser gerade hohe Aufmerksamkeit erfährt, auch aufgrund der verstärkt angestrebten Rückführung von Nährstoffen.

Mit Blick auf die Regenwasserbewirtschaftung in einer Schwammstadt ist festzuhalten, dass es Infrastrukturen, die das aufgefangene und gespeicherte Regenwasser wirklich und über größere Räume bzw. einen größeren (Quartiers-)Radius nutzbar machen würden, noch nicht gibt. Ein maßgeblicher Grund hierfür ist, dass „die Schwammstadt zwar konzeptionell und

funktional umfassend beschrieben ist, aber ihre Umsetzung durch fehlende Transformationspfade für bestehende Städte und Stadtquartiere sowie durch unzureichend ausformulierte Bewirtschaftungsansätze behindert wird“ (Köster 2022). Hier verortet sich die Forschung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover (SIAH). In diesem Artikel wird auf früheren Veröffentlichungen aufbauend dargelegt, wie mit der Einführung der komplementären Versorgungskomponente „Stadtwasser“ der Wasserbedarf einer Schwammstadt in quantitativer und qualitativer Hinsicht aus der Schwammstadt selbst heraus generiert gedeckt werden kann.

### 2. Wasserbedarf einer Schwammstadt (im Sommer)

Die Einbindung von grünen Elementen im Zuge der Hitzevorsorge im urbanen Quartier ist Stand der Technik. Hitzepläne zeigen deutlich die positive Wirkung städtischen Grüns durch Beschattung, Verringerung der Wärmespeicherung sowie Abkühlungseffekte durch Verdunstung und induzierte Kaltluftströme. Beispielsweise durchgrünte Hinterhöfe zeigen ein gegenüber versiegelten Flächen hohes Abkühlungspotential. Aber eben nur bei funktionalem Grün, d.h. bei entsprechend guter Wasserversorgung (Beier et al. 2022). Im Zuge der Transformation zu einer Schwammstadt mit einem wachsenden und zunehmend vernetzten Mosaik blau-grüner Elemente wird – wie oben dargelegt - damit der Wasserbedarf sukzessive steigen. Beispielsweise sind in der Stadt Hannover die Bewässerungskosten seit 2018 von 50.000 Euro auf mittlerweile über 220.000 Euro im Jahr gestiegen (NuTree). Dabei ist der Wasserbedarf von zahlreichen Faktoren und Aspekten abhängig, die in ihrem Zusammenspiel quartiersorientiert aufzuschlüsseln und zu würdigen sind:

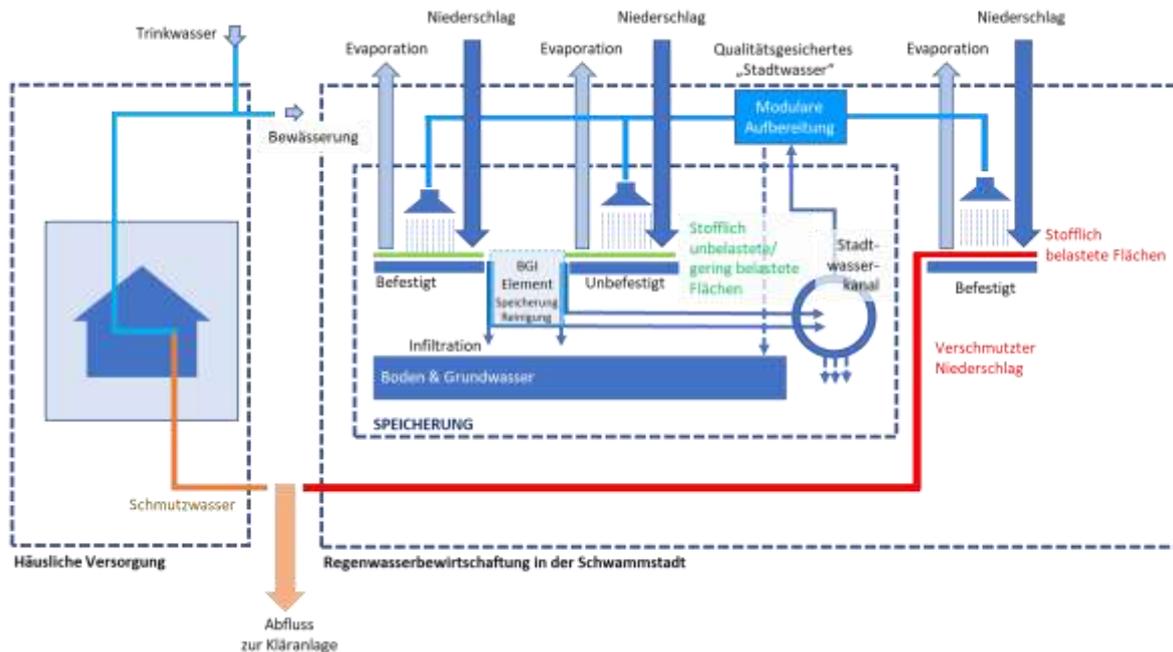
- Zunächst ist das vorhandene bzw. angestrebte Schwammstadtinventar zu beziffern und die sich daraus ergebende blau-grüne Schwammstadtinfrastruktur mit ihrer Vegetationsausstattung und -topographie festzulegen. Hier ist ausreichend konkret zu beschreiben, welcher Pflanzenbesatz vorliegt und welche Resilienz der Pflanzen und Schwammstadtelemente gegenüber Trocken- und Hitzestress vorliegt. Wichtig ist hierbei, auch die Bewässerungsstrategie und das resultierende Bewässerungsmanagement ortsspezifisch zu definieren. So wäre bspw. das Alter der Bäume und damit die Möglichkeit der Versorgung über tiefer liegende Wasserschichten oder der Einfluss des Untergrunds mit unterschiedlichem Wasserhalte- und aufnahmevermögen zu berücksichtigen.
- Ferner ist der erwünschte Funktionsumfang der Schwammstadt(-elemente) zu definieren. Hier ist vor allem durch die Stadtgesellschaft festzulegen, inwieweit diese wasserbasierten Dienstleistungen auch während und wegen Wetterextremen wie Hitzeperioden und Dürreereignissen aufrechterhalten werden sollen – so z.B. ökosystemare Funktionen (urbane Habitate), Stadt-Kühlung und Stadtreinigung.

In Tabelle 1 sind zusammenfassend essentielle urbane Wasserbedarfe aufgeführt, deren Deckung keine Trinkwasserqualität erfordert und die daher durch eine Bereitstellung von qualitativ gesichertem Regenwasser abgedeckt werden können.

**Tabelle 1: Übersicht über Wasserbedarfe, die durch qualitätsgesichertes Regenwasser gedeckt werden können** - eigene Aufstellung aus (Köster und Beier 2022)

Maßnahme	Abnehmer
<b>Bewässerungswasser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urbane Nahrungsmittelerzeugung</li> <li>• Bewässerung Park-, Grünanlagen und einzelne Bäume</li> <li>• Bewässerung von Bepflanzung an und um Straßen</li> <li>• Wohngebäude: Gründach-/Fassadenbewässerung/Garten- und Hofbewässerung</li> <li>• Versorgung von Kleingartenkolonien</li> </ul>
<b>Stadt-/Quartierskühlung</b>	(unter Umständen einhergehend mit Bewässerungsmaßnahmen) Wasserspiele oder temporäre Wasserkörper zur Reduzierung des <i>Urban Heat Island Effect</i>
<b>Städtische Reinigungsmaßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Straßenreinigung</li> <li>• Reinigung Kanalisation</li> <li>• Staubkontrolle</li> </ul>
<b>Sonstige</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung von Wasser zur Speisung urbaner Gewässer</li> <li>• Alimentierung urbaner Habitate</li> </ul>

Anhand des resultierenden „Pflichtenheftes“ einer Schwammstadt ist nicht nur die Ausstattung an blau-grüner Infrastruktur, sondern auch ein übergreifender Gesamt-Bewirtschaftungsansatz zu formulieren. Hier kommt man ohne grundlegende Überlegungen nicht aus. Im Sinne der bereits erwähnten urbanen Wasserkreislaufwirtschaft ist naheliegendes Grundprinzip, Niederschlagswasser nicht als einen homogenen Gesamtablauf zu klassifizieren, sondern vielmehr Niederschlagsströme in Abhängigkeit des Grades ihrer Verunreinigung zu definieren. Dieser Ansatz wurde vom ISAH im BMBF-Verbundvorhaben „Ressourcenoptimierte Transformation von Misch- und Trennentwässerungen im Bestand (TransMit)“ umfassend untersucht und er findet mittlerweile auch in vielen Veröffentlichungen Beachtung und Verbreitung. (Sauvé et al. 2021) betonen in ihrem Beitrag „Circular economy of water: Tackling quantity, quality and footprint of water“ bspw. die Wichtigkeit der (Mit-)Betrachtung von Wasserqualitäten. Explizit erscheint es für die Regenwasserbewirtschaftung in einer Schwammstadt unabdingbar, unverschmutzte und gering verschmutzte Niederschläge als die Niederschlagsfraktionen zu definieren, die in besonderer Weise geeignet sind, vor Ort gespeichert und im Rahmen einer komplementären Wasserversorgungskomponente als „Stadtwasser“ nutzbar gemacht zu werden. (Stark) verunreinigter Niederschlag sollte mit den unverschmutzten oder nur gering verschmutzten Strömen nicht vermischt, sondern separat gesammelt und zu Einrichtungen einer effizienten Behandlung (in der Regel die zentralen Kläranlagen) geleitet werden. Das verschmutzte Regenwasser geht dabei als Ressource nicht verloren, sondern kann in Konzepten der (Ab-)Wasserwiedernutzung erneute Verwendung im urbanen Wasserkreislauf finden. Bild 1 beschreibt den hier skizzierten Ansatz der Regenwasserbewirtschaftung in der Schwammstadt mit dem besonderen Merkmal einer qualitätsbasierten Differenzierung der Niederschlagsteilströme. Die Art der Darstellung ist inspiriert von (Grimmond et al. 1986).



**Bild 1: Regenwasserbewirtschaftung in der Schwammstadt** (eigene Darstellung)

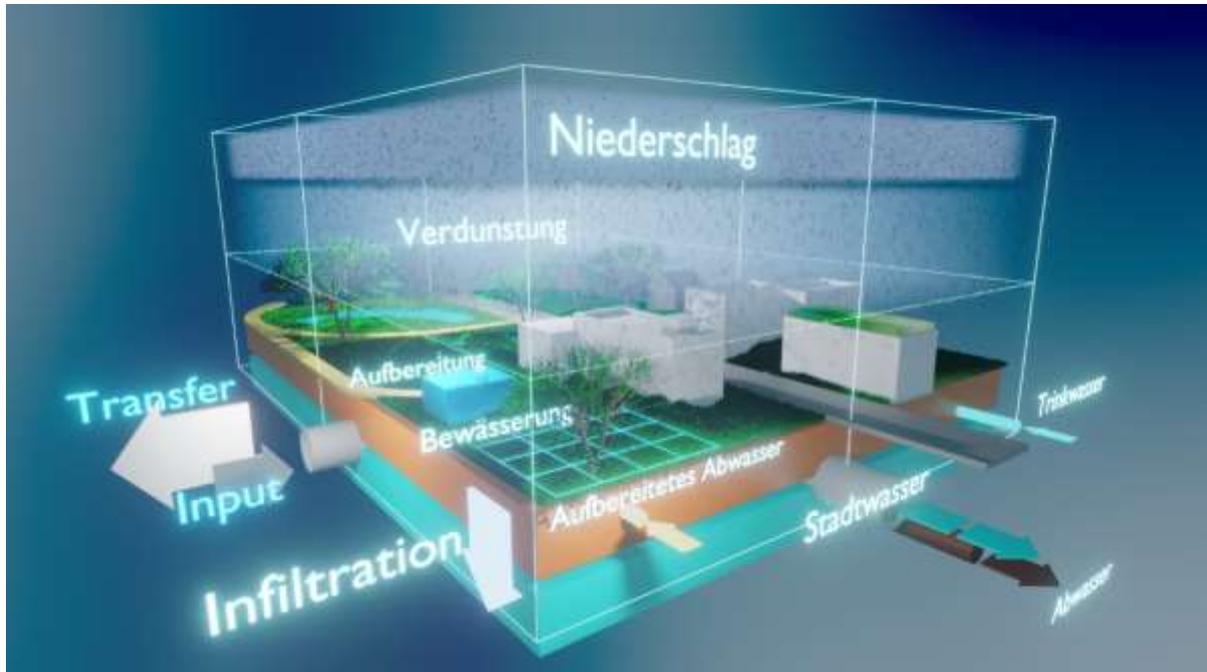
Mit der qualitätsbasierten Differenzierung von Niederschlagsteilströmen kann eine lokale bzw. quartierspezifische Wasserbilanz erstellt werden, indem den in Tabelle 1 genannten Wasserbedarfen ein (potentielles) zeitlich, räumlich und qualitativ differenziertes Regenwasserangebot gegenübergestellt wird. Wie in Bild 2 illustriert, sind hierzu passende lokale bzw. quartiersbezogene Bilanzräume zu definieren, die sich sowohl an der Oberflächennutzung (qualitätsbestimmend) als auch an den Ableitungsteileinzugsgebieten orientieren. Für die individuellen Bilanzräume wird eine Bestandsaufnahme in Form einer ausführlichen Flächenanalyse durchgeführt, die das Potential an unverschmutzten und gering verschmutzten Niederschlägen aufzeigt und die bewirtschaftungsrelevante Festlegung von Fließwegen und Sammelpunkten unterstützt (Köster und Beier 2022). Mit den genannten Größen sind dann für dieses Gebiet die Wege des Wassers bilanzierbar einschließlich des Wassertransfers in andere Bilanzräume sowie des Inputs aus anderen Quartieren. Eine Schwammstadt mit ausgereifter Regenwassernutzung fügt dem urbanen Wasserkreislauf neue Wasser-Transferpfade und Bewirtschaftungsgrößen hinzu und dies innerhalb des Bilanzraums oder in Interaktion mit weiteren Bilanzräumen. Die grundlegenden Größen der Stadthydrologie gemäß (Grimmond und Oke 1991) haben nach wie vor ihre Gültigkeit. Jedoch spiegelt die nachstehend aufgeführte Grundgleichung die zunehmende hydrologische Komplexität einer Schwammstadt nur unzureichend ab.

$$P + I + F = E + r + \Delta S + \Delta A \left[ \frac{mm}{h} \right] \quad (\text{Grimmond und Oke 1991})$$

- P = Niederschlag
- I = Leitungsgebundenes Wasser
- F = Sonstiges freigesetztes Wasser
- E = Evapotranspiration
- r = Abfluss
- $\Delta S$  = (delta) gespeichertes Wasser
- $\Delta A$  = Netto-Feuchteadvektion

Die zitierte Gleichung erfasst nur die klassischen Hauptgrößen der Wasserbilanz, schwammstadtinduzierte Wasserströme werden jedoch nicht weiter differenziert. Wie in Bild 2 dargestellt, sind in einer Schwammstadt zusätzliche (leitungsgebundene) Transportstrecken ebenso zu berücksichtigen, wie die vielfältigen z.T. neue Speicherräume und Abgabepunkte für Was-

ser (im kleinen urbanen Nutzungs-Kreislauf). Die aus den unterschiedlichen Herkünften resultierenden variierenden Qualitäten werden bei der traditionellen Differenzierung nach Teilströmen des urbanen Wasserhaushalts ebenfalls bisher nicht beachtet.



**Bild 2: Lokaler Bilanzraum in einer Schwammstadt** (eigene Darstellung)

Der hier skizzierte Bilanzierungsansatz gestattet eine systematische Herangehensweise an die Wasserbedarfsdeckung in einer Schwammstadt. Bei der offensichtlichen Schwierigkeit, klimatische Entwicklungen für Städte zu prognostizieren, wäre es jedoch vermessen zu erwarten, es gäbe bereits handfeste Ansätze zur Bezifferung des (zukünftigen) Wasserbedarfs sowie zugehöriger planerischer Vorgaben zu seiner Deckung. Besonders herausfordernd ist die bilanzielle Betrachtung unter Einbezug der Bedarfs- bzw. Versorgungssituation während der Jahreszeit Sommer bzw. des Wetterextrems Dürre-/Hitzeperiode.

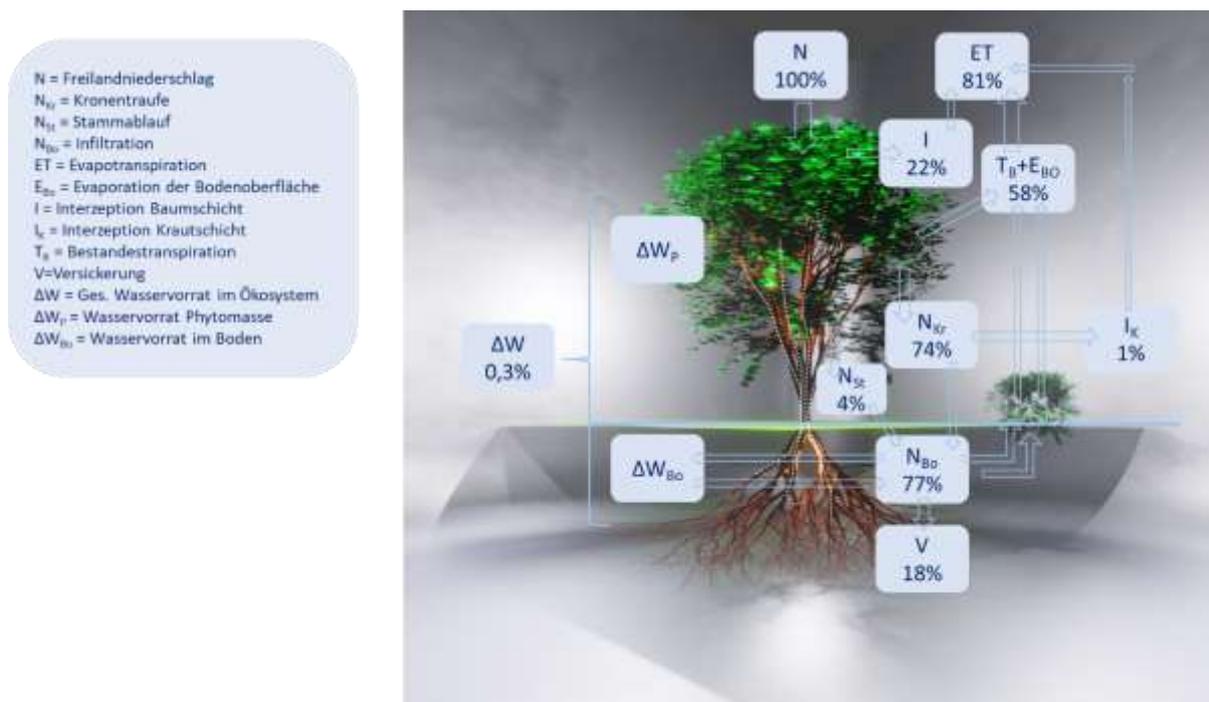
Hinsichtlich des grünen Inventars einer Schwammstadt lässt sich allgemein festhalten, dass „wärmere Temperaturen sich n erster Linie durch einen erhöhten Wasserbedarf und einen spürbar größeren Aufwand zur Erhaltung von Grünanlagen äußern“ (Dworak et al. 2021). Bewässerungs- bzw. Wasserbedarfs-Richtwerte bspw. aus der DIN 18919:2016-12<sup>1</sup> oder der DIN 1989-100<sup>2</sup> helfen mit Blick auf langanhaltende Dürreperioden nicht wirklich weiter. Gerade mit Blick auf den Sommer bzw. Hitze- und Dürreperioden ist der Wasserbedarf unter besonderer Beachtung der Evapotranspirationsraten der Elemente der blau-grünen Infrastrukturen (BGI) zu beachten. So treten im Sommer/bei Hitze unweigerlich Spitzen bei der Evapotranspiration auf. Die Rate ist aber von der gegebenen Art der Bepflanzung abhängig ist. (Kuhlemann et al. 2021) haben beispielsweise eine Bewertung der Auswirkungen der städtischen Vegetation auf die Evapotranspiration, die unterirdischen Fließwege und die Speicherung während einer längeren Trockenperiode mit nur episodischen Regenfällen vorgenommen. Sie legen dar, dass insbesondere (große/alte) Stadtbäume einen hohen Wasserbedarf aufweisen. Bild 3 beschreibt den komplexen Wasserhaushalt von Bäumen in der Vegetationsperiode (Röhrig 2016). Die Bäume entziehen dem Boden erhebliche Mengen an Feuchtigkeit, sodass die Böden an den Baumstandorten besonders trocken sein können (Kuhlemann et al. 2021). Gleichzeitig sinkt die Versickerungsleistung trockener Böden bzw. die Aufnahmegeschwindigkeit des

<sup>1</sup> Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Instandhaltungsleistungen für die Entwicklung und Unterhaltung von Vegetation (Entwicklungs- und Unterhaltungspflege)

<sup>2</sup> Regenwassernutzungsanlagen – Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 16941-1

Bodens bei Bewässerung bzw. Niederschlag. Aber „Niederschlagsarmut allein bedingt noch keinen Trockenstress. Vielmehr ist dazu auch in temperierten Regionen die Kopplung mit hoher Evaporation und vor allem mit Bodentrockenheit notwendig“ (Röhrig 2016). Bäume weisen ferner mehrere Strategien wie Austrocknungsvermeidung, Austrocknungstoleranz sowie Dürreflucht auf, um eine Dürretoleranz/-resistenz zu entwickeln (Röhrig 2016). Mit Blick auf weitere Vegetationsarten scheinen insbesondere Sträucher im Vergleich zu Grünland geringere Verdunstungsverluste und einen höheren Feuchtigkeitsgehalt durch geringere Interzeptionsverluste und eine geringere Wasseraufnahme durch die Wurzeln im Vergleich zu den Bäumen aufzuweisen, was diese Vegetationsart potenziell widerstandsfähiger gegen anhaltende Trockenheit macht (Kuhlemann et al. 2021). Im Hinblick auf Rasen- und Pflanzflächen bedarf es, um die gesamte durchwurzelte Schicht zu durchdringen, einer Wassermenge von 25 bis 35 l/m<sup>2</sup> pro Woche. Bei Rasen- und Pflanzflächen können an einem durchschnittlichen Sommertag ca. 3 bis 4 Liter pro m<sup>2</sup> verdunsten (Kendzia 2015). Die hier aufgeführten Aspekte verdeutlichen, dass der individuelle Pflanzenbesatz den Wasserbedarf eines BGI-Elements bzw. seine Resilienz gegenüber Trockenheit determiniert. Wiederholt findet man die Empfehlung, in den BGI bewusst einen Pflanzenbesatz vorzunehmen, der ohne oder nur mit geringer Bewässerung auskommt, vgl. (Doll et al. 2022). Mit Blick auf den Pflanzenbesatz in einer Schwammstadt ist die aktuelle Diskussion im Hinblick auf Stadtbäume besonders spannend. So wird noch weiter aufzuklären sein, wo in einer Schwammstadt Bäume als urbanes Inventar z.B. zur Steigerung des Schattenertrags zweckmäßig platziert sind. (Song 2022) stellt diesbezüglich aktuelle Erkenntnisse aus China zusammen und fasst zusammen, dass in Schwammstädten hohe Bäume in innerstädtischen bzw. bebauten Gebieten vermieden werden sollten (Song 2022).

Ergänzend spielt die Ausgestaltung der Bewässerung der BGI ebenfalls eine maßgebliche Rolle. „Wird zu oft bewässert, bilden sich die Wurzeln der Pflanzen weniger tief aus, wodurch die Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Trockenstress wiederum ansteigt“ (Dworak et al. 2021). Auch die Effizienz der Bewässerung selbst ist mit zu betrachten (Sauvé et al. 2021). Gerade in der Schwammstadt mit ihren immanenten Zielen der Überflutungsvorsorge einerseits und der Regenwasserbereitstellung in Trockenphasen andererseits sollte es vorrangiges Ziel sein, die Bewässerung so vorzunehmen, dass die Bewässerung einer Grünfläche im Zusammenspiel mit den wasserspeichernden Vorrichtungen umgesetzt werden kann, z.B. umgesetzt durch eine „closed-loop irrigation“, vgl. (Nahar et al. 2019). Ferner ist der Bodenaustrocknung in einer Schwammstadt gezielt vorzubeugen. Tritt sie auf, sind veränderte Oberflächenabflussraten (Versiegelung durch Trockenheit) bzw. dann noch mögliche Versickerungsraten realistisch abzuschätzen. Ein (Online-)Monitoring sowie passende Gegenmaßnahmen während und außerhalb der Vegetationsperiode und unter Zuhilfenahme des in der Schwammstadt gespeicherten Wassers sind hier ebenso zielführend, wie ein auf die Bereitstellung von Bewässerungswasser (z.B. unterirdische Versickerung o.ä.) auch örtlich abgestimmter Begrünnungsplan eines Quartiers.



**Bild 3: Wasserbilanz eines Baumes/Eichenmischwaldes, Daten aus (Röhrig 2016)**

Mit Blick auf das blaue Inventar einer Schwammstadt sind insbesondere die Verdunstungsarten zu beachten. Urbane (Oberflächen-)Gewässer weisen – beeinflusst durch Beckenmorphologie, Luftfeuchte und Dauer der Sonneneinstrahlung – teils erhebliche Verdunstungsraten auf und unterstützen damit die Kaltluftströme bzw. den Luftaustausch. Auch wenn die Lufttemperatur in der Nacht in unmittelbarer Nähe der Wasserkörper aufgrund der Wärmespeicherung gegenüber einer grünen Umgebung erhöht ist, haben sie also zusätzlich zu dem direkt nutzbaren Hitzelastreduzierungspotential durch Wasserkontakt auch eine positive Klimawirkung. Im Bericht „Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten“ sind u.a. BGI-Elemente bzgl. ihrer Stadtkühlungseffekte beschrieben (Sieker et al. 2019). Dennoch sind noch weitere Erkenntnisse auf dem Weg zu einer profunden Nutzenabwägung ausstehend, um auf Basis konkreter Wirkungs-Maßnahmenbeziehungen eine Bewertung unterschiedlicher Quartiersentwicklungskonzepte z.B. im Hinblick auf die in Hitzeperioden erreichbare Stadtkühlung vorzunehmen und damit eine faktenbasierte Nutzenabwägung innerhalb der Stadtgesellschaft zu ermöglichen.

### 3. Wege zur Deckung des Wasserbedarfs

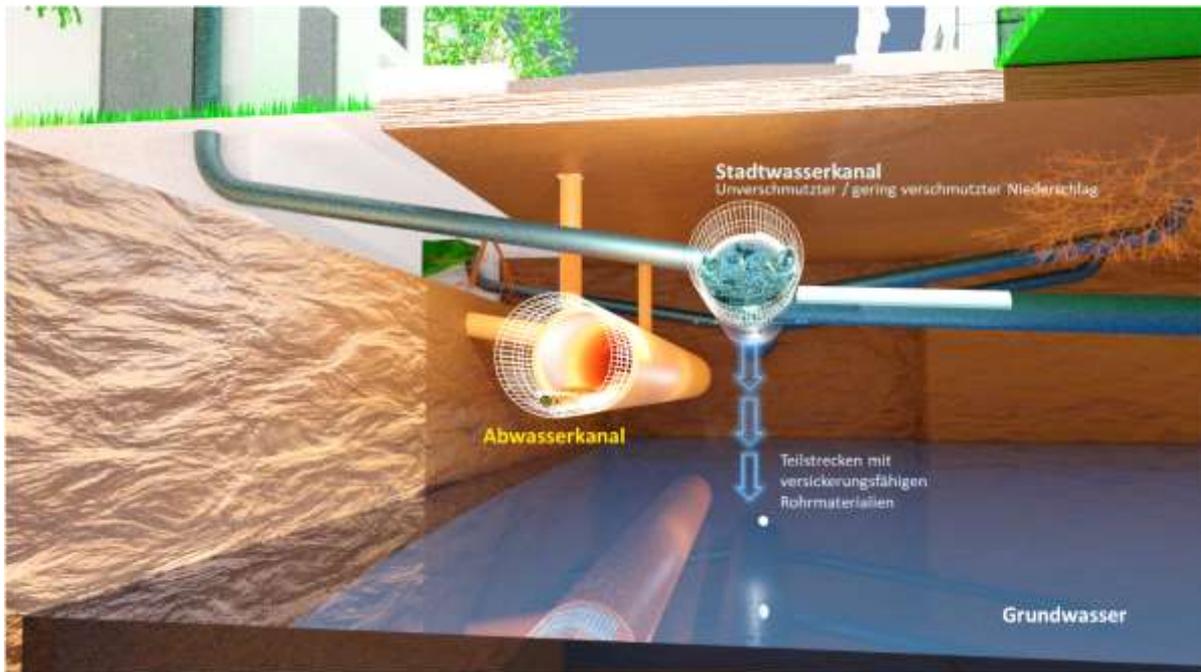
In diesem Kapitel wird ein neuer bzw. innovativer Ansatz der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung durch die Einführung der oben beschriebenen qualitätsorientierten Niederschlagsaufteilung sowie Bereitstellung des so genannten „Stadtwassers“ vorgestellt. Das ISAH hat in den zurückliegenden Monaten auf verschiedenen Foren das Stadtwasserkonzept vorgestellt, u.a. hier (Köster und Beier 2021). „Das Grundprinzip des Stadtwasserkonzeptes ist es, wie oben hergeleitet zunächst unverschmutzten bzw. nur gering verschmutzten Niederschlag vor Ort zu sammeln (Einrichtung von qualitätsorientierten Wasserweichen – mechanisch oder smart zur automatisierten Trennung während einzelner Regenereignisse), dieses zu speichern (Boden, Grundwasser, Schwammstadtelemente, separate Becken oder vorhandenen Kanalstrecken), es bedarfsgerecht aufzubereiten und es als qualitätsgesichertes Produkt über eine eigene Infrastruktur über kurze Distanzen (also quartiersorientiert) zu transportieren und zu verteilen. Verschmutzte Niederschläge werden Bestandteil des kommunalen Schmutzwassers, aus dem Einzugsgebiet herausgeleitet und in den zentralen Kläranlagen optimal und mit

hohen Reinigungsansprüchen behandelt. Mischwasserabschläge bzw. „Schmutzwasserabschläge“ im Sinne der hier propagierten qualitätsbasierten Trennentwässerung würden aufgrund der reduzierten NW-Belastung minimiert oder gar nicht mehr auftreten, vgl. auch Potentialanalyse in (Kabisch et al. 2021). An dieser Stelle muss noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Infrastruktur der qualitätsorientierten Ableitung nicht für die Ableitung im Starkregenfall konzipiert wird, sondern die Nutzung und Bereitstellung der Wasserressource während der Normal-Niederschläge adressiert. Sehr wohl sollten aber die z.T. für die Starkregenvorsorge neu zu schaffenden, erheblichen Retentionsräumen in die Bewirtschaftungskonzepte (Speicherung) mit einbezogen werden. Die Übergänge sind hier fließend und die örtlichen Randbedingungen mit einzubeziehen.

„Stadtwasser“ wird entsprechend der Nutzeranforderungen mit unterschiedlichen Qualitätsklassen bereitgestellt. Das Angebot des qualitätsgesicherten „Stadtwassers“ („City Water“) bedient dabei gezielt Wasserbedarfe, die durch die öffentliche Trinkwasserversorgung quantitativ nicht abgedeckt werden können bzw. bietet eine Versorgung für Wassernutzungen, die eine Inanspruchnahme von Trinkwasser(-qualität) nicht erfordern, vgl. auch Tabelle 1. Dabei wird das separat gesammelte Regenwasser von unkritischen Flächen entweder unmittelbar genutzt (Basis-Qualität) oder es wird dezentral in „City Water Hubs“ (siehe auch Bild 4) zu den hochwertigeren Stadtwasserqualitäten Basis+ und Qualität+ aufbereitet, vgl. (Köster und Beier 2021).“ Ausgehend von Bild 1 illustrieren Bild 4 und Bild 5 das hier vorgestellten infrastrukturelle Konzept.



**Bild 4: Illustration des Stadtwasserkonzepts (eigene Darstellung)**



**Bild 5: Untergrundansicht: Stadtwasserkanal einschl. Teilstrecken mit versickerungsfähigen Rohrmaterialien und Abwasserkanal (eigene Darstellung)**

In (Köster und Beier 2022) ist ausführlich dargestellt, wie die Bereitstellung des Stadtwassers bedarfsgerecht in unterschiedlichen Qualitäten erfolgen kann. Die modulare Aufbereitungsabfolge in den City Water Hubs ermöglicht dies. Bei der Aufbereitung sollen möglichst niedrig-energetische Verfahren wie z.B. schwerkraftgetriebene Membranen und UV-Desinfektion zum Einsatz kommen bzw. lokale Energiequellen wie Photovoltaik, Wind und Abwärme genutzt und in das Konzept eingebunden werden. Auch sollten zur weiteren Steigerung der urbanen Wasserbereitstellung gezielt städtische Wasserschutzzonen definiert werden, in denen durch Eingrenzung möglicher Oberflächennutzung (z.B. Verkehr, aber auch die Verwendung bestimmter Materialien) ein qualitativ hochwertiger Ablauf sichergestellt ist. Im Hinblick auf die Verteilung des Stadtwassers kommen insbesondere kleinräumige Verteilungsinfrastrukturen (z.B. für die Parkbewässerung) in Frage aber auch Zapfstellen an den City Water Hubs (CWH) oder weiter entlegene Abgabepunkte, die mit den CWH verbunden sind. Von allen Zapfstellen kann ein Weitertransport z.B. mittels LKW für anderweitige Bewässerungsmaßnahmen wie die des Straßengrüns erfolgen. Mit dem Aufbau eines lokalen Stadtwasserangebots und der Integration nutzerangepasster Infrastrukturmaßnahmen besteht, wie in (Köster und Beier 2021) dargelegt die Möglichkeit, aber auch die Notwendigkeit, vertragliche Abnahmeregulungen mit den Abnehmern zu treffen. Eine Chance für die weitere Verstetigung und finanzielle Absicherung lokaler Schwammstadtkonzepte (Köster und Beier 2022).

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Um absehbare Nutzungskonflikte zu vermeiden, ist die Erhöhung der Verfügbarkeit von Wasser in der Stadt eine der zentralen Zukunftsaufgaben. Möglichkeiten hierzu bestehen, da das Wasserdargebot durch die Umsetzung einer modernen Regenwasserbewirtschaftung und (Ab-)Wasserwiedernutzung erhöht werden kann. Im Dreiklang dieser integralen Siedlungswasserwirtschaft stehen Wasserressourcen zur Verfügung, die im Abgleich mit lokalen/regionalen Bedarfsanalysen Städte im Klimawandel auskömmlich versorgen können. Hierbei reicht es aber zukünftig nicht mehr, Planungen auf Jahresbilanzen aufzubauen. Klimaangepasste Stadtplanung heißt zunehmend multifunktionale Infrastruktur bereitzustellen, die in den jahres-

zeitlich sich stark verändernden Herausforderungen flexibel genutzt werden können. Im vorliegenden Beitrag wird ein besonderes Augenmerk darauf gelegt, dass eine Schwammstadt zwar Regenwasser bereitstellt, mit ihren blau-grünen Infrastrukturen aber auch selbst ein relevanter Wasserverbraucher ist, wenn die blau-grünen Elemente ihre Funktion auch im oder gerade im Sommer behalten sollen. In diesem Zusammenhang ist mit der Planung konkret zu beschreiben, welchen Funktionsumfang eine Schwammstadt mit ihren Infrastrukturen aufweisen soll. Damit ließe sich zum Zwecke der Bestimmung des Wasserbedarfs auch festlegen, bis wohin bspw. die Bewässerung der Elemente der blau-grünen Infrastrukturen gedrosselt werden könnte, ohne deren Bestand zu gefährden bzw. Service- und Funktionseinbußen z.B. bei der Bekämpfung von urbanen Hitzeinseln in Kauf zu nehmen.

Die vorgestellte qualitätsbasierte Splittung und separate Bewirtschaftung von Niederschlags-teilstromen ist ein überzeugender Ausgangspunkt für die Regenwasserbewirtschaftung in einer Schwammstadt. Mit Blick auf den fortschreitenden Klimawandel muss es nun in die infrastrukturelle Umsetzung gehen und hier insbesondere auch zu Lösungen für die Umsetzung in bzw. Transformation von innerstädtischen Bestandsquartieren kommen. Die hier vorgestellte qualitäts- und bedarfsorientierte Bewirtschaftung des Niederschlags und Abwassers erfordert die verstärkte Vernetzung und teilweise gezielte Beeinflussung von hoch dynamischen und komplexen Prozessen, so z.B. die Berücksichtigung eines variablen Anfalls und variabler Qualitäten von Niederschlagswasser im Abgleich mit schwankendem Brauchwasserbedarf. Hierfür sind die Einzelsysteme adäquat zu charakterisieren und bestehende Prozesszusammenhänge zu identifizieren und zu beschreiben. Insbesondere sind Einrichtungen zur dezentralen Wasserspeicherung sowie Ansätze zur nutzerorientierten Bereitstellung von Brauchwasser unter maximaler Ausnutzung vorhandener bzw. angepasster Bestandsinfrastruktur (Regenwasserkanalisation, Rückhalteräume, urbane Strukturen) vorzusehen. Die Formulierung quartierspezifischer Leitbilder „Wie sieht dieses Quartier in 30 Jahren aus?“, „Wer wohnt hier, welche Funktion hat dieses Quartier im Stadtgefüge?“ ist Voraussetzung für eine tragfähige integrale Quartiersentwicklung, indem sie die Objektplanung durch klare übergeordnete Rahmenumgebung unterstützt. Die aus der qualitätsbasierten Trennung der Oberflächenabflüsse resultierenden komplexeren Betriebsweisen lassen sich mit Mitteln der Digitalisierung/KI umsetzen bzw. gezielt unterstützen. Dies umfasst u.a. auch die Entwicklung und Einführung eines online-Qualitätsmonitoring in Verbindung mit smarter Prozessleittechnik zur Verringerung von Gesundheitsrisiken und qualitätsgesicherter Bereitstellung von Brauch- bzw. Bewässerungswasser. Ferner bedarf es nach wie vor einer wahrnehmbaren Institutionalisierung im Verwaltungshandeln (z.B. angepasste Entgeltgestaltung, Ausweisung von Stadtwasserschutzgebieten etc.), um Handlungsfähigkeit zu erzeugen und zügig Umsetzungen zu realisieren.

### Literaturverzeichnis

Beier, Maïke; Gerstendörfer, Jessica; Mendzigall, Katja; Pavlik, Dirk; Trute, Peter; Tils, Robert von (2022): Climate Impact and Model Approaches of Blue-Green Infrastructure Measures for Neighborhood Planning. In: *Sustainability* 14 (11), S. 6861. DOI: 10.3390/su14116861.

Doll, Claire; Polyakov, Maksym; Pannell, David J.; Burton, Michael P. (2022): Rethinking urban park irrigation under climate change. In: *Journal of Environmental Management* 314, S. 115012. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115012.

Dworak, Thomas; Lotter, Franziska; Hoffmann, Peter; Hattermann, Fred; Bausch, Thomas; Günther, Wolfgang (2021): Folgen des Klimawandels für den Tourismus in den deutschen Alpen- und Mittelgebirgsregionen und Küstenregionen sowie auf den Badetourismus und fluss-begleitende Tourismusformen. *Wassersparende Außenanlagen*. Hg. v. Umweltbundesamt (TEXTE, 117/2021). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/folgen-des-klimawandels-fuer-den-tourismus-in-den>, zuletzt geprüft am 31.01.2023.

- Ebissa, Gizaw; Desta, Hayal (2022): Review of urban agriculture as a strategy for building a water resilient city. In: *City and Environment Interactions* 14, S. 100081. DOI: 10.1016/j.cacint.2022.100081.
- Grimmond, C. S. B.; Oke, T. R. (1991): An evapotranspiration-interception model for urban areas. In: *Water Resour. Res.* 27 (7), S. 1739–1755. DOI: 10.1029/91WR00557.
- Grimmond, C. S. B.; Oke, T. R.; Steyn, D. G. (1986): Urban Water Balance: 1. A Model for Daily Totals. In: *Water Resour. Res.* 22 (10), S. 1397–1403. DOI: 10.1029/WR022i010p01397.
- Kabisch, Nils-Kristof; Beier, Maike; Köster, Stephan (2021): Qualitätsbasierte Entwässerung von Niederschlagswasser: Potenzialanalyse am Beispiel der Stadt Hildesheim. In: *Korespondenz Abwasser*.
- Kenzia, Nikolai (2015): Kommunales Grün braucht Regenwasser. In: *fbr-wasserspiegel* (4), S. 8–10.
- Köster, Stephan (2021): How the Sponge City becomes a supplementary water supply infrastructure. In: *Water-Energy Nexus* 4, S. 35–40. DOI: 10.1016/j.wen.2021.02.002.
- Köster, Stephan (2022): Ansätze zur Weiterentwicklung des Schwammstadt-konzeptes im In- und Ausland. DWA Dialog 2022. DWA. Berlin, 26.09.2022.
- Köster, Stephan; Beier, Maike (2021): Weiterentwicklung der Schwammstadt zu einer komplementären Wasserversorgungsinfrastruktur. In: *gwf Wasser Abwasser*, Artikel 05399\_2021\_11\_02, S. 85–97.
- Köster, Stephan; Beier, Maike (2022): Die Schwammstadt als Innovationstreiber für die Siedlungswasserwirtschaft 9-11.3.2022. digitale 55. ESSENER TAGUNG für Wasserwirtschaft "Wasserwirtschaft im Klimawandel". Hg. v. Wintgens und Pinnekamp. Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (2022). Aachen (Gewässerschutz - Wasser & Abwasser – GWA, 254).
- Kuhlemann, Lena-Marie; Tetzlaff, Doerthe; Smith, Aaron; Kleinschmit, Birgit; Soulsby, Chris (2021): Using soil water isotopes to infer the influence of contrasting urban green space on ecohydrological partitioning. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 25 (2), S. 927–943. DOI: 10.5194/hess-25-927-2021.
- Nahar, Jannatun; Liu, Su; Liu, Jinfeng; Shah, Sirish L. (2019): Improved storm water management through irrigation rescheduling for city parks. In: *Control Engineering Practice* 87, S. 111–121. DOI: 10.1016/j.conengprac.2019.03.019.
- NuTree: Sensor- & KI-gestützte Wertschöpfungskette Baum. Online verfügbar unter <https://www.nutree-eip.de/>.
- Röhrig, Ernst (2016): Waldökologie. Einführung für Mitteleuropa. [Erscheinungsort nicht ermittelbar]: Springer Spektrum (Springer eBook Collection).
- Sauvé, Sébastien; Lamontagne, Sébastien; Dupras, Jérôme; Stahel, Walter (2021): Circular economy of water: Tackling quantity, quality and footprint of water. In: *Environmental Development* 39, S. 100651. DOI: 10.1016/j.envdev.2021.100651.
- Sieker, Heiko; Steyer, Ruth; Büter, Björn; Leßmann, Dominika; Tils, Robert von; Becker, Carlo; Hübner, Sven (2019): Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten (Texte | 111/2019). Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-16\\_texte\\_111-2019\\_verdunstungskuehlung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-16_texte_111-2019_verdunstungskuehlung.pdf), zuletzt geprüft am 10.01.2023.
- Song, Chen (2022): Application of nature-based measures in China's sponge city initiative: Current trends and perspectives. In: *Nature-Based Solutions* 2, S. 100010. DOI: 10.1016/j.nbsj.2022.100010.