

Blau-grüne Infrastruktur in der Stadt der Zukunft

Ulrich Dittmer, Florian Wilhelm, Christian Scheid, Martin Rumberg, Kaiserslautern;
Till Jaworski, Eduard Rott, Ralf Minke, Stuttgart

1 Was ist blau-grüne Infrastruktur und welchen Zielen dient sie?

Die Begriffe *Grüne*, *Blaue* oder *Blau-Grüne Infrastruktur* werden im Kontext verschiedener Fachdisziplinen sehr unterschiedlich definiert und verwendet.

Die Bezeichnung *Grüne Infrastruktur* für Netzwerke von Grünflächen hat ihre Wurzeln in der Landschaftsplanung und Landschaftsökologie (Fletcher et al., 2014). Die EU-Kommission definiert *Grüne Infrastruktur* als „ein strategisch geplantes Netzwerk aus natürlichen und naturnahen Flächen mit anderen Umweltelementen, das mit Blick auf die Bereitstellung eines breiten Spektrums an Ökosystemdienstleistungen angelegt ist und bewirtschaftet wird (...)“ (EC, 2019a). Die Definition umfasst explizit auch aquatische Ökosysteme. Synonym wird in EU-Publikationen auch die Bezeichnung „*Grüne und Blaue Infrastruktur*“ verwendet, wenn die aquatische Dimension betont werden soll (EC, 2019b). Der blaue Anteil dieser Infrastruktur umfasst also auch natürliche und naturnahe Oberflächengewässer.

Im Gegensatz dazu bezeichnet der in den USA weit verbreitete Begriff *Green Infrastructure* eine naturnahe, dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, also einen Teilbereich der Siedlungswasserwirtschaft (Fletcher et al., 2014). In den letzten Jahren hat sich international der Begriff *Blue-Green Infrastructure* etabliert, der die Verknüpfung naturnaher wasserwirtschaftlicher Maßnahmen und Anlagen mit Grünflächen und Gewässern betont. Der Begriff wird sowohl in der Raumplanung (Stadt-, Landschafts- und Freiraumplanung) als auch in der Siedlungswasserwirtschaft verwendet, jedoch mit jeweils unterschiedlicher Bedeutung oder Schwerpunktsetzung. In ihrem Positionspapier „Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte“ definiert die DWA die blau-grüne Infrastruktur einer Kommune als den „Verbund von Oberflächengewässern, Grundwasser, Maßnahmen und Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung sowie öffentlichen und privaten Grünflächen“ (DWA, 2021).

Demnach soll die Renaturierung von Stadtgewässern der Hochwasservorsorge dienen. Eine ausreichende Grundwasserneubildung und eine Begrenzung der Einleitung von Niederschlagsabflüssen soll negative Auswirkungen auf das Abflussregime reduzieren. Der urbane Wasserhaushalt soll sich künftig am Wasserhaushalt der umgebenden Kulturlandschaft orientieren, ohne dass der Entwässerungskomfort dadurch eingeschränkt wird. Als Elemente blau-grüner Infrastruktur werden auch Notabflusswege betrachtet sowie im Starkregenfall zum Rückhalt von Abflüssen nutzbare Freiflächen. Trinkwasserressourcen sollen geschont werden, indem vorrangig Regenwasser, aber auch Grundwasser und aufbereitetes Abwasser, zur Bewässerung von Grünflächen genutzt werden. (DWA, 2021)

Neben diesen primär wasserwirtschaftlichen Zielsetzungen berücksichtigt blau-grüne Infrastruktur direkt oder indirekt auch die Anforderungen anderer Sektoren. So trägt die gesteigerte ökologische Qualität urbaner Gewässer zum Erhalt der Biodiversität bei. Der Erhalt und die Förderung von urbanem Grün durch die Bewässerung verbessert das Stadtklima und dient der Gesundheitsvorsorge. Sichtbare Gewässer werten urbane Freiräume auf und steigern die Aufenthalts- und Lebensqualität in der Stadt. Die multifunktionale Nutzung von Freiräumen für die Starkregenvorsorge unterstützt das Ziel, mit der wertvollen Ressource Fläche sparsam umzugehen. Ein wesentliches übergeordnetes Ziel blau-grüner Infrastruktur ist die Reduzierung der Vulnerabilität von Städten und die Erhöhung ihrer Resilienz gegenüber Wetterextremen wie Dürre, Hitze und Starkregen.

Grundsätzlich herrscht ein disziplinübergreifender Konsens über die vielfältigen Vorteile blau-grüner Infrastruktur in verschiedenen Sektoren und die damit verbundenen Synergien. Zwischen den Belangen der beteiligten Sektoren bestehen jedoch ebenso vielfältige Konkurrenzen. So bietet beispielsweise eine hydraulisch optimal gestaltete multifunktionale Freifläche in der Regel nicht die höchstmögliche Aufenthaltsqualität; Retentionsbodenfilter, die dem Regelwerk der DWA entsprechen, sind äußerst wirksame Behandlungsanlagen, tragen aber wenig zur Biodiversität bei.

Auch innerhalb der Wasserwirtschaft konkurrieren verschiedene Zielsetzungen miteinander. So können offene Wasserflächen im Stadtraum einen Beitrag zur Starkregenvorsorge leisten. Der temporäre Rückhalt von unbehandeltem Oberflächenabfluss in stehenden Gewässern beeinträchtigt jedoch die Wasserqualität massiv. Auch bei der Versickerung von Regenabflüssen ist zwischen qualitativen und quantitativen Zielsetzungen abzuwägen.

In anderen Fällen wirken Maßnahmen zwar in mehrfacher Hinsicht grundsätzlich positiv. Wie ausgeprägt die Wirkung jeweils ist, hängt aber von der Wahl der Bemessungskriterien ab. So werden im Zusammenhang mit blau-grüner Infrastruktur oder Schwammstadtkonzepten häufig die Synergien zwischen der Starkregenvorsorge und der Schonung von Wasserressourcen (durch direkte Nutzung von Regenwasser oder Grundwasseranreicherung) betont. Tatsächlich sind jedoch Maßnahmen, die gezielt auf Starkregenvorsorge ausgelegt sind, in der Regel wenig effizient mit Blick auf die Wasserbilanz. Umgekehrt sind Anlagen, die primär auf den Erhalt der Wasserbilanz ausgerichtet sind, wenig wirksam in Richtung Überflutungsvorsorge. Im Gegensatz zu komplexen Eigenschaften wie Aufenthaltsqualität oder Artenvielfalt können jedoch die Wirkungen geplanter Maßnahmen auf hydrologische Kenngrößen im Rahmen der Planung prognostiziert und damit quantitativ berücksichtigt werden.

Blau-grüne Infrastruktur wird oftmals als Alternative zu technischer, überwiegend unterirdischer „grauer“ Infrastruktur betrachtet (DWA, 2021). Um die Funktionsfähigkeit der sichtbaren, meist naturnah gestalteten Komponenten zu gewährleisten und die angestrebten Wirkungen zu erzielen, sind jedoch technische Elemente unverzichtbar. So kann die Eutrophierung von regenwassergespeisten Stadtseen nur kontrolliert werden, wenn die Phosphorkonzentration im Zufluss durch eine Vollstrombehandlung

möglichst weitgehend reduziert wird. Hierzu können Retentionsbodenfilter dienen (Bioplan 2020, 2021). Hinsichtlich ihrer Wirkungsweise können diese Anlagen als naturbasiert eingestuft werden. Gestaltung und Ausrüstung sind jedoch oftmals stark technisch geprägt. Wie andere Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung auch, lassen sie sich nicht eindeutig als „grün“ oder „grau“ klassifizieren. Bell et al. (2019) sprechen in diesem Zusammenhang von einem grau-grünen Kontinuum der Regenwasserinfrastruktur.

Wenn Regenwasser zur Bewässerung von Stadtgrün verwendet wird, werden in der Regel unterirdische, technische Komponenten für die Speicherung und Verteilung benötigt. Auch bei der Entsorgung von Regenwasser können im innerstädtischen Bestand naturnahe Systeme konventionelle, technische Strukturen nicht vollständig ersetzen. Kanalnetze werden dort weiterhin benötigt, um Niederschlagsabflüsse teilweise abzuleiten. Die Kombination und Kopplung von blau-grünen Komponenten und bestehenden technischen Strukturen als hybride blau-grün-graue Infrastruktur erschließt weitere Synergien und führt in diesem Kontext zu günstigeren und resilienteren Lösungen (Bakhshipour et al., 2019; Trapp und Winker, 2020).

In Anlehnung an Ludwig et al. (2021) wird im vorliegenden Beitrag ein erweitertes Verständnis von blau-grüner Infrastruktur zugrunde gelegt, das technische Elemente einschließt und vorhandene kommunale, in der Regel „graue“ Wasserinfrastrukturen in die Betrachtung einbezieht. Damit erhalten die Siedlungswasserwirtschaft bzw. ingenieurtechnische Aspekte ein größeres Gewicht in der Konzeption und Planung.

2 Wie sieht die Stadt der Zukunft aus?

Weltweit wurde in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Stadtquartieren nach den Leitlinien einer wasserbewussten Stadtentwicklung mit blau-grüner Infrastruktur erschlossen und gestaltet. International bekannte Referenzprojekte finden sich beispielsweise in Singapur, Indonesien, Indien, Dänemark oder den USA (u.v.a. Wörlen et al. 2016), aber auch als „water sensitive urban design (WSUD) in Australien (u.v.a. Wong and Brown, 2009; Brown and Clarke, 2007) oder als fundamentaler Bestandteil des „Schwammstadt“-Ansatzes in China (vgl. Fuchs, 2017, Köster et al. 2018).

Auch in Deutschland wurden verschiedene Projekte erfolgreich umgesetzt, teils bereits vor Jahrzehnten. Exemplarisch stehen hierfür der Scharnhäuser Park in Ostfildern (Wörlen et al. 2016), der BUGA-See Heilbronn (Heilbronn 2019), verschiedene Inselprojekte zur Schwammstadt in Berlin (Schumacher Quartier Tegel, bmgr (o.J.); Rummelsburger Bucht Lichtenberg, IPS (o.J.), Technologiepark Adlershof, Berliner Regenwasseragentur (2019)) oder als Konversionsprojekt das Oxford-Quartier Münster (Uhl und Hörnschemeyer, 2022). Alle diese Projekte zeigen, dass auch bei einer für urbane Verhältnisse typischen Siedlungsdichte ein funktionierendes Netz aus Wasser- und Grünflächen Quartiere mit hoher Lebensqualität möglich sind.

In mehreren Pilotprojekten wurden zudem Leitfäden für die Planung blau-grüner Infrastrukturen entwickelt. Stellvertretend für viele seien hier die Projekte KURAS (Matzinger et al., 2017), netWORKS 4 (Trapp und Winker 2020), SWITCH (Hoyer et al., 2011), SAMUWA (Deister et al., 2016) oder INTERESS-I (Ludwig et al. 2021) genannt.

Als Konsens der bisherigen Erfahrungen kann festgehalten werden, dass qualitativ hochwertige Stadtquartiere mit lebendiger blau-grüner Infrastruktur nur in enger Zusammenarbeit von Siedlungswasserwirtschaft, Stadtplanung und Freiraumplanung entstehen. Integrierende Planungsprozesse müssen alle beteiligten Disziplinen bereits im Vorfeld der Bauleitplanung einbeziehen (Dittmer, 2016).

Markante, richtungsweisende Pilotprojekte werden in der Regel im Zuge von Neuerschließungen oder großen Stadtumbaumaßnahmen (Konversionsprojekte) umgesetzt. Je größer die Freiheitsgrade in der Planung, desto weitgehender kann das Prinzip einer wasserbewussten Stadtentwicklung umgesetzt werden. Sind aber derartige Modellquartiere als Vorbild für die „Stadt der Zukunft“ geeignet? Welchen Anteil machen in den kommenden Jahrzehnten „neue“ Stadtquartiere an der gesamten Siedlungsfläche aus?

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes wächst die Siedlungsfläche im Bundesdurchschnitt täglich um ungefähr 40 ha. Bezogen auf die Gesamtheit der vorhandenen Siedlungsflächen entspricht das einem jährlichen Zuwachs von ungefähr 0,4 % (Statistisches Bundesamt 2023). Die Bundesregierung plant eine deutliche Reduzierung der Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen auf 30 ha im Jahr 2030 und eine vollständige Flächenkreislaufwirtschaft ab dem Jahr 2050 (Bundesregierung, 2021, S. 271). Treiber der Flächenneuanspruchnahme sind im Moment eindeutig das Wohnen und die gewerbliche Logistik in suburbanen („Speckgürtel“) und ländlichen Raum. In den kommenden Jahrzehnten ist mit einem Wachstum der Siedlungsfläche um nur wenige Prozent zu rechnen, das überwiegend außerhalb der Städte stattfinden dürfte. Große Außenentwicklungen werden immer mehr zur Ausnahme.

Welchen Anteil machen Neuplanungen im Innenbereich aus? Bei der Abschätzung der Konversionsflächen im Innenbereich besteht ein statistisches Defizit. Die Bebauungsplanung der Gemeinden wird hier nicht systematisch statistisch erfasst. Außerdem bietet nicht jede Bebauungsplanung Spielräume, um das Erschließungs- und Freiflächensystem grundlegend zu ändern. Bebauungspläne im Innenbereich dienen oftmals der Klarstellung des Baurechts, der Steuerung einzelner Nutzungen, der Nachverdichtung oder der Umnutzung kleinerer Brachflächen, lassen aber den eigentlichen Stadtgrundriss (öffentliche Verkehrs- und Freiflächen) ganz oder weitgehend unverändert.

Grundlegende Konversion geht in der Regel von singulären, disruptiven Ereignissen aus - die Nutzung großer Flächen wird aufgegeben, und eine neue Nutzung muss gefunden werden. Seit Anfang der 1990er Jahre hat der Strukturwandel in Militär, Schienenverkehr und Industrie zur Freisetzung großer Flächen geführt. In besonders

stark betroffenen Städten war der Umfang dieser Flächen beträchtlich – so wurden allein in Mannheim durch den Abzug des Militärs gut 500 ha Fläche frei, was etwa 10 % der gesamten Siedlungsfläche ausmacht (Stadt Mannheim 2013, S. 12). Auf innenstadtnahen Bahnflächen sind große Stadtquartiere entstanden, so in der Achse Pasing-Hauptbahnhof in München oder auf dem ehemaligen Hauptgüterbahnhof Frankfurt, ebenso auf gründerzeitlichen Industriearealen. Allerdings sind in den letzten Jahren deutlich weniger Konversionsflächen hinzugekommen. Größere Militärf Flächen sind in Deutschland zuletzt 2011 mit dem neuen Standortkonzept der Bundeswehr (BMVg, 2011) freigesetzt worden, auch die Bahn setzt seit 2005 größere Flächen nur noch in Einzelfällen frei, nachdem wesentliche Rationalisierungsschritte im Güterverkehr und in der Fahrzeuginstandhaltung abgeschlossen waren. Insofern ist davon auszugehen, dass sich die Konversion innenstadtnaher Gewerbe- und Industriestandorte und entbehrlicher Bahn- und Militärliegenschaften dem Ende zuneigt. Eine Konversion von mehr als einem Prozent der Siedlungsfläche pro Jahr ist auch bei stark betroffenen Städten nicht mehr zu erwarten. Auf mittlere Sicht bleibt der Innenbereich auch dort in sehr großen Teilen städtebaulich stabil.

Es bleibt somit festzuhalten, dass sich die „Stadt der Zukunft“ hinsichtlich ihrer städtebaulichen Struktur und des Bestands von Verkehrs- und Freiflächen nur geringfügig von der heutigen Stadt unterscheiden wird. Das gilt insbesondere im stark verdichteten Innenstadtbereich, wo der Bedarf an blau-grüner Infrastruktur oftmals besonders groß ist. Der vorliegende Beitrag setzt sich daher mit der Frage auseinander welche Maßnahmen im innerstädtischen Bestand gewinnbringend umgesetzt werden können.

3 Wasserbilanz und Dürrevorsorge als Bemessungsziele

3.1 Bemessungskriterien der Regenwasserbewirtschaftung

Zu den Grundsätzen einer wasserbewussten Stadtentwicklung zählen die Annäherung an den Wasserhaushalt der Kulturlandschaft und die verstärkte Nutzung von Regenwasser. Die Bemessung von Anlagen orientiert sich jedoch auch bei der naturnahe Regenwasserbewirtschaftung weiterhin am Entwässerungskomfort konventioneller Systeme. Versickerungsanlagen werden daher in der Regel auf Starkregen mit einer Wiederkehrzeit von 5 Jahren bemessen. Ergänzend soll zukünftig die langfristige Wasserbilanz zur Bewertung der Planung auf der Ebene von Baugebieten herangezogen werden. Auf die Bemessung der einzelnen Anlagen hat sie jedoch keinen Einfluss. Die für den oberirdischen Starkregentrückhalt erforderlichen Flächen stehen im Bestand in der Regel nicht zur Verfügung. Eine vollständige Abkopplung der angeschlossenen Flächen vom Kanalnetz ist daher selten umsetzbar. Damit kommt auch die positive Wirkung auf den Wasserhaushalt nicht zum Tragen.

Vor dem Hintergrund zunehmender Dürreperioden als Folge des Klimawandels scheint es angebracht, die Bemessungskriterien für Versickerungsanlagen zu überdenken und an den Anforderungen des jeweiligen Einzelfalls auszurichten. Im

Folgendes wird untersucht wie sich eine Bemessung von Versickerungsanlagen mit dem Ziel der Grundwasseranreicherung auf die Dimensionen der Anlagen auswirkt. An einem konkreten Beispiel soll überprüft werden, ob diese Anpassung eine bessere Umsetzung im verdichteten innerstädtischen Bestand ermöglicht. In Anlehnung an in Kalifornien geltende Richtlinien werden Versickerungsmulden so dimensioniert, dass 85 % des Regenabflusses einer Bodenpassage zugeführt werden (CSUS-OWP, 2021). Es wird dabei angenommen, dass ein ausreichend leistungsfähiges System für die Ableitung von intensiveren Regenereignissen vorhanden ist.

Bodenpassage kann auch zur Vorbehandlung für eine anschließende Speicherung und Nutzung des Regenwassers zur Bewässerung dienen. Hierfür wurden Zisternen bemessen. Es wurde untersucht wie sich die Größe der angeschlossenen Flächen und die Art der Begrünung auf die Größe der Zisternen auswirkt.

3.2 Muldenbemessung nach Starkregen- und Dürrevorsorge im Vergleich

Um grundsätzliche Zusammenhänge zu untersuchen wurde ein fiktives Gebiet mit einer vollständig versiegelten Fläche von 1 ha betrachtet. Für dieses Gebiet wurden nach DWA (2020) Mulden für eine Wiederkehrzeit von $T = 5$ a bemessen. Als Niederschlagsbelastung wurden KOSTRA-Daten von Berlin-Tempelhof verwendet. Die Muldentiefe wurde in folgenden Schritten variiert: 10 cm, 15 cm, 20 cm und 30 cm. Die Durchlässigkeit des Bodens (k_f -Wert) wurde variiert, um folgende Bodenarten zu repräsentieren: Sandiger Kies ($3 \cdot 10^{-3}$ m/s), Grobsand ($3 \cdot 10^{-4}$ m/s), Feinsand ($3 \cdot 10^{-5}$ m/s), sandiger Lehm ($3 \cdot 10^{-6}$ m/s). Für dasselbe Gebiet und dieselben Randbedingungen wurden Versickerungsmulden nach dem Kriterium 85 % Bodenpassage bemessen. Hierzu wurden Langzeitsimulationen mit der Regenreihe der Station Berlin-Tempelhof des Deutschen Wetterdienstes (DWD) durchgeführt (Dauer 23 Jahre von 1995 bis 2018). Die Muldenfläche wurde iterativ angepasst bis eine Übereinstimmung mit dem Zielkriterium von $\pm 0,2$ % erreicht wurde.

Die in Abb. 1 dargestellten Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß, dass die Bemessung nach dem 85 %-Kriterium zu deutlich kleineren Versickerungsflächen führen. Je geringer die Tiefe der Mulden und je höher die Durchlässigkeit des Bodens, desto größer ist die Flächeneinsparung. Im ungünstigsten Fall (sandiger Lehm, Tiefe: 30 cm) beträgt sie 93 % gegenüber der nach DWA-Arbeitsblatt A 138 erforderlichen Fläche. Bei höherer Durchlässigkeit des Bodens liegt sie zwischen 90 % und 97 %.

3.2.1 Umsetzung an einem realen Beispiel

Die kleineren Dimensionen der Versickerungsmulden erlauben grundsätzlich eine flexiblere Umsetzung im Bestand. Um das Potenzial unter realen Randbedingungen einzuschätzen, wurden die Ergebnisse auf drei unterschiedlich strukturierte Gebäudeblöcke in Berlin-Kreuzberg übertragen. Zwei der betrachteten Gebäudeblöcke weisen eine mittlere Bebauungsdichte auf (50 % Gebäudeanteil), einer eine hohe (66 % Gebäudeanteil). Es wurden ausschließlich Dachflächen an die Versickerungsmulden angeschlossen.

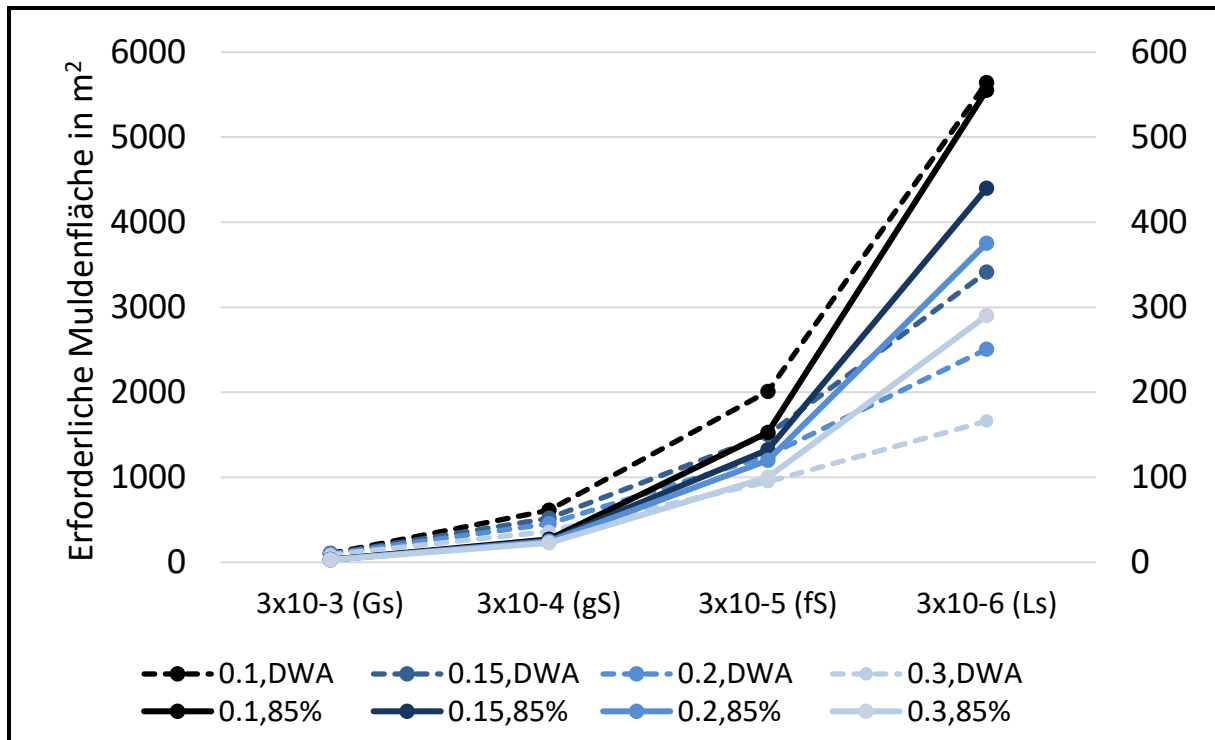


Abb. 1: Erforderliche Muldenflächen in Abhängigkeit von Tiefe (0,1 bis 0,3 m) und k_f -Wert bei der Dimensionierung nach DWA-A 138-1 (DWA, linke y-Achse) und zur Erreichung des Ziels von 85% Bodenpassage (85 %, rechte y-Achse)

Im Bearbeitungsgebiet steht an allen Standorten Mittelsand an. Um etwaige Störeinflüsse auf den langjährigen Betrieb (Kolmation, Bodenverdichtung) zu berücksichtigen, wurden die Ergebnisse für Feinsand verwendet. Außerdem wurde mit 10 cm eine relativ geringe Einstautiefe gewählt. Dadurch sollen Grünflächen repräsentiert werden, die nicht offensichtlich als Mulden gestaltet sind. Diese sind in der Gestaltung und Bepflanzung weniger eingeschränkt und tragen somit mehr zur Aufwertung des Straßenraums bei.

Zur GIS-gestützten Ermittlung der Dachflächen wurden amtliche Katasterinformationen von Berlin (FIS Broker, SenSBW 2022) verwendet. Zusätzlich wurden mit Hilfe der 3D-Ansicht in Google Earth die Dachneigungen ausgewertet, um die Anschlussrichtungen der Dachflächenanteile (Innenhofseite/Straßenseite) zu unterscheiden. Vorhandene Grünflächen und Standorte für potenziell erforderliche zusätzliche Versickerungsflächen wurden ebenfalls anhand von Google Maps und Google Earth unter Zuhilfenahme der Funktion „Streetview“ abgeschätzt. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

In allen Fällen stehen trotz der ungünstig gewählten Randbedingungen (Boden, Muldentiefe) sowohl in den Innenhöfen, als auch im Straßenraum wesentlich mehr Grünflächen zur Verfügung, als für die Versickerung benötigt werden. In den Innenhöfen werden lediglich 6,6 % bzw. 2,8 % der vorhandenen Grünflächen benötigt. Im Straßenraum liegt dieser Anteil zwischen 16 % und 62 %. Hier sind die Grünflächen außerdem nicht gleichmäßig verteilt. Aus Gründen der praktischen Umsetzbarkeit

(Anschlussmöglichkeit) wurde angenommen, dass eine Versickerungsmulde in unmittelbarer Nähe zum jeweiligen Grundstück liegen muss. Trotz des großen Angebots an Grünflächen in der Gesamtbetrachtung, müssen daher an einzelnen Standorten neue Mulden angelegt werden. Der gesamte Flächenbedarf für die Versickerung liegt bei 0,25 m² bis 0,31 m² je laufendem Meter Blockfassade. Die Ergebnisse sind beispielhaft für den am dichtesten bebauten Block 1 in Abb. 2 dargestellt. Die Grünflächen im Straßenraum sind ausschließlich Baumstandorte.

Tabelle 1: Ergebnisse der Flächenerhebung, Beispiel Berlin-Kreuzberg

		Block 1	Block 2	Block 3
Bebauungsdichte		hoch	Mittel	Mittel
Gesamtfläche	m ²	15.817	27.063	23.214
Gebäudeflächen	m ²	10.435	13.577	11.675
Anteil Gebäudefläche	%	66	50	50
Entwässerung zur Straße	%	41	35	8
Entwässerung zum Hof	%	59	65	92
erf. Sickerfläche Straße	m ²	65	71	14
vorh. Grünfläche Straße	m ²	104	447	64
erf. Sickerfläche Hof	m ²	92	133	161
vorh. Grünfläche Hof	m ²	1.386	4.645	5.693
erf. Sickerfläche Straße pro lfm	m ²	0,25	0,31	0,25
erf. Sickerfläche/grüne Hoffläche	%	6,6	2,8	2,8



Abb. 2: Ergebnisse der Flächenerhebung für den Gebäudeblock 1 (hohe Bebauungsdichte). Rot: Dachflächen, Grün: vorhandene Grünflächen, Blau: zusätzlich erforderliche Grünflächen

3.2.2 Zisternen für die Bewässerung von Grünflächen

Die Dimensionierung der Zisternen wurde wieder anhand standardisierter Flächen durchgeführt, um durch die Variation der Randbedingungen grundsätzliche Zusammenhänge abzuleiten. Eine entscheidende Einflussgröße auf die Größe des erforderlichen Speichervolumens ist das Verhältnis von angeschlossener Dachfläche (A_{Dach}) zur zu bewässernden Grünfläche (A_{Bew}). Einen großen Einfluss auf die Bemessung hat auch die Art der Vegetation. In Tabelle 2 sind die betrachteten Vegetationstypen mit dem jeweiligen jährlichen Wasserbedarf nach Ludwig et al. (2021) zusammengestellt. Dabei wurde eine Bepflanzungsdichte bei Bäumen von $12 \text{ m}^2/\text{Stück}$ angenommen, bei Sträuchern von $1 \text{ m}^2/\text{Stück}$. Die Verteilung des Bedarfs im Jahresverlauf wurde nach Angaben der Firma HELIX angenommen (HELIX 2022).

Tabelle 2: Jährlicher Wasserbedarf verschiedener Vegetationstypen nach (Ludwig et al. 2021)

Vegetationsart	Wasserbedarf in m^3/a	Begrünungsart
Rasen und Wiese	0,36	Ganzjährig
Sträucher	0,25	Ganzjährig
Bäume	0,15	Saisonal
Rabatten	0,50	Saisonal

Für die Bemessung wurde wie bei der Muldenbemessung die Regenreihe Berlin-Tempelhof verwendet. Die Änderung des Volumens in der Zisterne wurde auf Tagesbasis nach Gleichung 1 ermittelt. Wobei ΔV für die Volumenänderung in der Zisterne steht (in l), h_N für die Niederschlagshöhe in mm, A_{Dach} und $A_{\text{Grün}}$ für die Dach- und Grünflächen in m^2 und w für den Wasserbedarf der Pflanzen in mm. Es wird angenommen, dass bei einer täglichen Bilanzierung die Verzögerung des Zuflusses, durch die vorangegangene Bodenpassage vernachlässigbar ist.

Gl. 1:
$$\Delta V = h_N * A_{\text{Dach}} - A_{\text{Grün}} * (w - h_N)$$

Der Bemessung von Entwässerungssystemen liegt ein allgemein akzeptierter Entwässerungskomfort zugrunde, der sich in der Häufigkeit kritischer Ereignisse niederschlägt. Für die Bewässerung stehen keine vergleichbaren Daten für eine Dürrevorsorge zur Verfügung. Um dem Anspruch der Dürrevorsorge gerecht zu werden, wurde das Bemessungskriterium streng gewählt. Im gesamten Betrachtungszeitraum von 23 Jahren sollte die Zisterne an maximal sieben Tagen in einem Kalenderjahr leer sein.

Abb. 3 zeigt den großen Einfluss der angeschlossenen Dachfläche auf das pro Grünfläche erforderliche Zisternenvolumen. Demnach haben Verhältniswerte von 1:1 bis 4:1 zwischen angeschlossener Fläche und Grünfläche einen großen Einfluss auf die Bemessung. Der Einfluss der Vegetationswahl kann nur eine grobe Orientierung liefern. Der Wasserbedarf pro Grünfläche ist proportional zur angenommenen Dichte der Bepflanzung. Er ist außerdem mit einer sehr großen Unsicherheit behaftet, da er

stark von den Randbedingungen in der unmittelbaren Umgebung und von der individuellen Zielsetzung des Betreibers abhängt. Eine reine Erhaltungsbewässerung ist mit einem wesentlich geringerem Wasserbedarf verbunden als eine Bewässerung, die auf eine hohe Verdunstungskühlung zielt.

Einen Eindruck von der praktischen Umsetzbarkeit liefert die Übertragung auf den oben beschriebenen Anwendungsfall in Berlin-Kreuzberg. Im Fall der dichten Bebauung entwässern 7 m² Dachfläche pro laufendem Meter Fassade in Richtung der Straße. Für die Bewässerung eines Grünstreifens mit Bäumen, Sträuchern oder Rasen von 1 m Breite wäre demnach ein Zisternenvolumen zwischen 14 und 35 l/ld m erforderlich. Bei einer mittleren Gebäudebreite von 20 m entspricht dies 0,28 bis 0,70 m³/Gebäude. Auf der Innenhofseite liegt das Verhältnis von Dach- zu Grünfläche bei 4,4 (hohe Dichte) bis 1,9 (mittlere Dichte). Hier wären also deutlich größere spezifische Speichervolumina erforderlich. Die Umsetzung gestaltet sich hier jedoch einfacher als im Straßenraum, wo Leitungskonflikte mit weiterer unterirdischer Infrastruktur (Wasser, Abwasser, Gas, Strom, Telekommunikation) möglich sind.

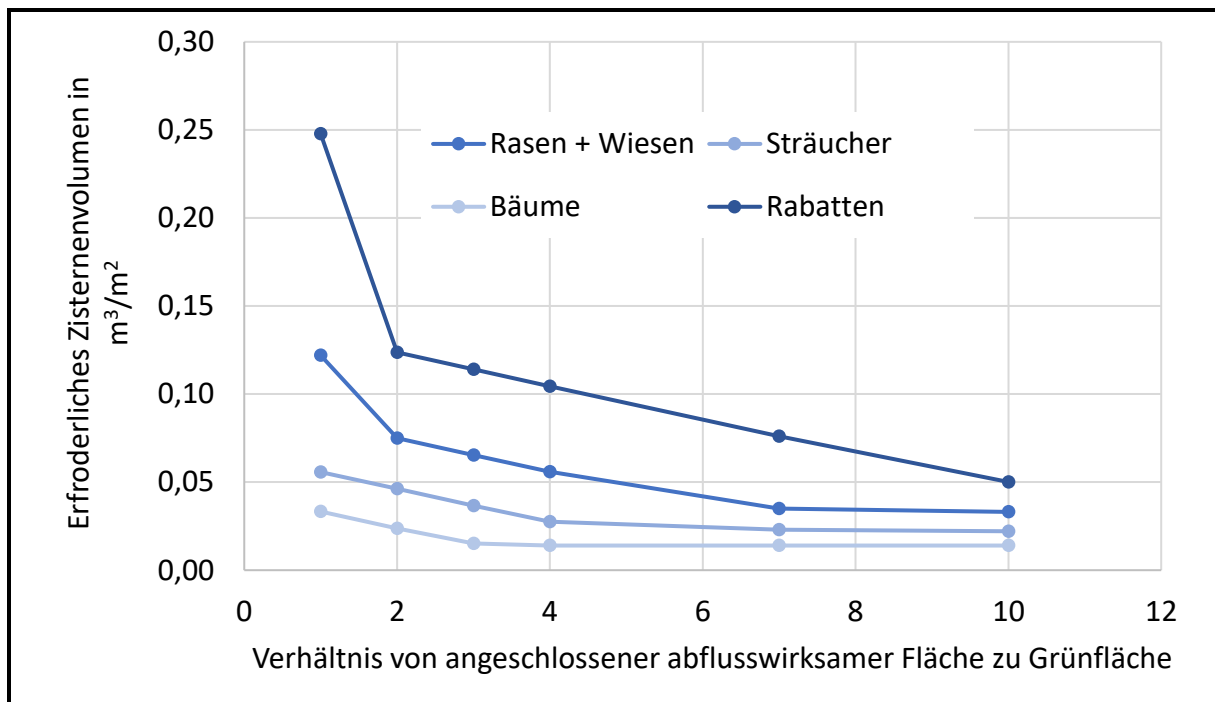


Abb. 3: Zisternenvolumen in Abhängigkeit vom Verhältnis der angeschlossenen Dachfläche zur zu bewässernden Grünfläche für unterschiedliche Vegetationstypen

3.2.3 Zisternen für die Bewässerung einer Fassadenbegrünung

Als Anwendungsbeispiel für die Bemessung von Zisternen für die Fassadenbewässerung dient der in Abb. 2 dargestellte dicht bebaute Gebäudeblock 1. Die Bebauung ist überwiegend fünfgeschossig. Das Verhältnis von Dach- und Fassadenfläche beträgt im Mittel 0,7. Angenommen wurde eine 50 %-Begrünung der Fassaden. Die Berechnung wurde normiert auf ein Gebäude mit 100 m² begrünter Fassade und 140 m² Dachfläche. Die spezifischen Ergebnisse sind auf andere Gebäudegrößen mit ähnlichen Flächenverhältnissen übertragbar.

Der Wasserbedarf der Pflanzen wurde nach Empfehlungen der Firma HELIX (HELIX 2022) für eine Optimalbewässerung mit $0,5 \text{ m}^3/\text{a}$ angenommen. Für eine reine Erhaltungsbewässerung wurde dieser Wert auf $1/3$ reduziert. In einem weiteren Szenario wurde auch untersucht, wie sich eine Zuspisung von Grauwasser auf die Bemessung auswirkt. Dieses Prinzip einer kombinierten Regen- und Grauwassernutzung zur Bewässerung einer Fassadenbegrünung wurde bereits im BMBF-Verbundprojekt INTERESS-I erprobt (Eisenberg et al., 2021). Durch den kontinuierlichen Anfall dieser Ressource können auf diese Weise lange niederschlagsfreie Perioden leichter überbrückt werden. Die Nutzung von Grauwasser erfordert jedoch eine zusätzliche Aufbereitung.

Der Grauwasseranfall wurde mit $30 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ angenommen. Da eine vollständige Grauwassernutzung wenig realistisch ist, wurden Varianten betrachtet, in denen das Wasser von 5 und 10 Einwohnern im „Normgebäude“ genutzt wurde. Das entspricht einem Anteil von $1/3$ und $2/3$ der geschätzten Einwohnerzahl bei 3 Personen pro Stockwerk. (Schätzung in Anlehnung an SenSE, 2011).

Abb. 4 zeigt die Ergebnisse für die normierte begrünzte Fassadenfläche von 100 m^2 . Eine Bewässerung mit dem Ziel einer maximalen Evapotranspiration (Optimalbewässerung mit Regenwasser) erfordert ein mehr als 5-fach größeres Volumen als die reine Erhaltungsbewässerung. Das große Volumen wird unter anderem benötigt, um das Bemessungskriterium im Dürrejahr 2018 einzuhalten. Nimmt man das Ziel der Dürrevorsorge ernst, müssen allerdings gerade solche kritischen Zustände berücksichtigt werden.

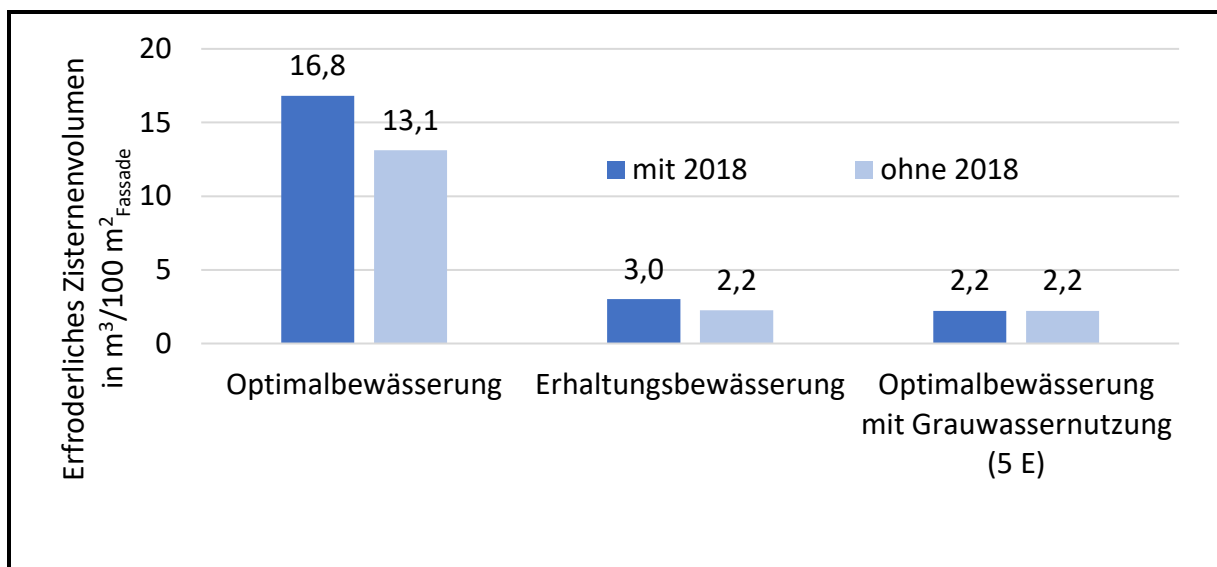


Abb. 4: Erforderliches Zisternenvolumen für drei Varianten einer Fassadenbewässerung pro 100 m^2 begrünter Fassadenfläche bei 140 m^2 Dachfläche

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu bedenken, dass über die Robustheit von Fassadenbegrünungen gegenüber Dürre und über den Zusammenhang von reduzierter Bewässerung und optischem Eindruck keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen. Die dargestellten Daten dienen vor allem einer ersten Orientierung.

Die Berechnung bestätigt die erwartete große Wirkung der Grauwassernutzung. Die Nutzung des Grauwassers von einem Drittel der Bewohner ermöglicht eine Optimalbewässerung bereits bei einem Speichervolumen von 2 bis 3 m³/100 m²_{Fassade}. Bei einer Grauwassernutzung von 2/3 der Einwohner wären gar keine Zisternen erforderlich.

4 Fazit und Ausblick

Blau-grüne Infrastruktur kann die Resilienz von Städten gegenüber Wetterextremen wie Dürre, Hitze und Extremniederschlägen steigern und damit einen wesentlichen Beitrag zur Klimaanpassung leisten. Eine weitgehende Umstellung der Wasserinfrastruktur von konventionellen grauen zu blau-grünen Systemen ist jedoch nur im Zuge einer großflächigen Neugestaltung ganzer Stadtquartiere möglich. Derartige Stadtumbaumaßnahmen betreffen jedoch in absehbarer Zukunft nur einen kleinen Anteil der städtischen Flächen. Die „Stadt der Zukunft“ wird somit im Wesentlichen der „Stadt der Gegenwart“ ähnlich und in weiten Bereichen auch „grau“ geprägt sein. Umso entscheidender wird sein, alle sich bietenden Gelegenheitsfenster konsequent für Transformationen in Richtung des „blue-green dreams“ bzw. der Schwammstadtidee zu nutzen.

Mit dem hier präsentierten bilanzbezogenen Bemessungsansatz einer 85 %-Bewirtschaftung des Jahresniederschlagsabflusses über Versickerungsmulden und Bewässerungszisternen lässt sich ein weitgehender Rückhalt von Regenabflüssen im Stadtgebiet bei möglichst geringem Flächenverbrauch realisieren. Er reduziert den Flächenbedarf bei entsprechenden Bodeneigenschaften um mehr als 90 % gegenüber der in der Regenwasserbewirtschaftung üblichen Bemessung auf den Starkregenfall. Er hätte somit auch im innerstädtischen Bestand ein größeres Umsetzungspotenzial und erleichtert den Transformationsprozess. Die Kombination der Bodenpassage mit einer anschließenden Regenwassernutzung zur Bewässerung kann einen wesentlichen Beitrag zum Erhalt urbaner Grünflächen in Dürreperioden leisten. Die Erhöhung der Verdunstung trägt außerdem zur Hitzevorsorge bei.

Die Nutzung zur Bewässerung von Grünflächen und Fassadenbegrünungen bietet gegenüber dem Einsatz von Gründächern den Vorteil, dass die Verdunstungskühlung dort wirkt, wo sich Menschen aufhalten. Die Bodenpassage dient dabei dem Rückhalt partikulärer und organischer Substanzen, was den Betriebsaufwand von Zisternen begrenzt und das Risiko von Faulungsprozessen bei sehr langen Aufenthaltszeiten reduziert. Im dargestellten Beispiel wurden nur Dachflächen angeschlossen. Mit einer solchen Vorbehandlung könnten jedoch grundsätzlich auch Abflüsse von stärker verschmutzten Flächen für die Bewässerung genutzt werden. Bei ungünstigen Eigenschaften des anstehenden Bodens können meliorierte Filtersubstrate eingebaut werden, um die hydraulische Leitfähigkeit sicherzustellen oder die Reinigungsleistung zu steigern.

Das Beispiel der Bewässerung von Fassadenbegrünungen zeigt auch die Grenzen der reinen Regenwassernutzung. Für die Sicherstellung einer hohen Verdunstungs-

leistung während langer Trockenperioden werden sehr große Speichervolumina benötigt. Es zeigt auch, welchen großen Einfluss das Bewässerungsziel (maximale Verdunstung oder Erhalt der Vegetation) auf das erforderliche Speichervolumen hat. Zisternen könnten auch wesentlich kleiner dimensioniert werden, wenn kontinuierlich verfügbare Ressourcen genutzt werden. Im Beispiel genügte hierfür ein kleiner Anteil des häuslichen Grauwassers. Dafür ist jedoch eine Aufbereitung erforderlich. Alternativen könnten Abflüsse auf Grundwasserhaltungen Brunnen oder Quellen sein, die bislang als Fremdwasser abgeleitet werden (Ludwig et al., 2021). Je nach örtlichem Vorkommen könnten diese Ressourcen auch Brauchwasser für die Haushalte zur Verfügung stellen. Die Umsetzung solcher Konzepte ist jedoch nur im Rahmen großräumigerer Maßnahmen möglich.

Die bilanzbezogene Bemessung der Regenwasserbewirtschaftung koppelt die angeschlossenen Flächen nicht vollständig von der bestehenden Infrastruktur ab. Die hydraulische Belastung von Kanalnetzen und das Risiko von Überflutungen durch seltene Extremniederschläge werden durch derart bemessene Mulden nicht reduziert. Die Planung muss daher auch die Leistungsfähigkeit der bestehenden Infrastruktur beachten, so dass in der Gesamtheit ein hybrides bzw. gekoppeltes grau-blau-grünes System entsteht.

Die dargestellten Untersuchungen zeigen, dass die Beurteilung von einzelnen Maßnahmen oder Konzepten zwingend die der Bemessung zugrundeliegende Zielsetzung berücksichtigen muss. Pauschale Aussagen zur Wirkung blau-grüner Infrastruktur sind grundsätzlich irreführend und es bedarf weiterer Untersuchungen zur Wirkungsquantifizierung blau-grüner Infrastruktur.

Vor diesem Hintergrund widmet sich das laufende BMBF-Verbundvorhaben AMAREX in der BMBF-Fördermaßnahme WaX WasserExtremereignisse dem Umgang mit den gegensätzlichen Extremen Starkregen und Dürre in der Regenwasserbewirtschaftung (AMAREX, 2023). Es soll darin unter anderem ein Webtool entwickelt werden, das auf verschiedenen räumlichen Skalen Umsetzungspotenziale verschiedener Maßnahmen zeigt und erste Wirkungsabschätzungen ermöglicht. Dabei werden Synergien und Konkurrenzen zwischen beiden Zielsetzungen betrachtet. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Untersuchungen zum Wasserbedarf von Pflanzen und zur Optimierung von Bewässerungsstrategien.

5 Dank

Die Autoren danken Maureen Kerner und Erik Porse vom Office of Water Programs (OWP), Sacramento, Kalifornien für wertvolle Hinweise zur Anwendung des Bemessungsansatzes und des LID Sizing Tools.

6 Literatur

- AMAREX (2023): Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse. Projektwebseite des Verbundvorhabens AMAREX im Themenfeld: Urbane extreme Wasserereignisse der Fördermaßnahme des BMBF: Wasser-Extremereignisse. Förderkennzeichen: 02WEE1624. Internet: <https://amarex-projekt.de>
- Bakhshipour, A. E.; Dittmer, U.; Haghghi, A. and Nowak, W. (2019): Hybrid green-blue-gray decentralized urban drainage systems design, a simulation-optimization framework. *Journal of Environmental Management* (249) 1st November 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109364
- Bell, C. D.; Spahr, K.; Grubert, E.; Stokes-Draut, J.; Gallo, E.; McCray, J. E.; Hogue, T. S. (2019): Decision Making on the Gray-Green Stormwater Infrastructure Continuum. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*. February 2019. DOI: 10.1061/JSWBAY.0000871
- Berliner Regenwasseragentur (2019): Quartier Adlershof, Ganzheitlich smart. Internetseite <https://regenwasseragentur.berlin/future-living/>
- Bioplan (2021): Die offene Speicherung von städtischen Regenabflüssen erfordert eine hohe Phosphorentfrachtung. Kurzbericht. BIOPLAN-Landeskulturgesellschaft, Sinsheim, unveröffentlicht.
- Bioplan (2020): Die Steuerung der Sichttiefe erlaubt einen aufwandsarmen Seebetrieb - Betriebserfahrungen mit den Stadtseen in Heilbronn (BUGA, 2019). Kurzbericht. BIOPLAN-Landeskulturgesellschaft, Sinsheim, unveröffentlicht.
- bmgr (o.J.): Leitplan Regenwasser und Hitzeanpassung Schumacher Quartier Berlin. Internetseite. <http://www.bmgr.de/de/projekte/RegenwasserkonzeptSchumacherQ>. (zuletzt geprüft: 14.09.2019)
- Brown, R. R., Clarke, J. M. (2007): Transition to water sensitive urban design: The story of Melbourne, Australia (Vol. 7, No. 1). Melbourne: Facility for Advancing Water Biofiltration, Monash University
- Bundesministerium der Verteidigung (BMVg): Die Stationierung der Bundeswehr in Deutschland, Berlin 2011
- Bundesregierung, 2021: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Weiterentwicklung 2021, Berlin 2021.
- CSUS-OWP (2021): California Phase II LID Sizing Tool. Documentation Manual. California State University Sacramento. Office of Water Programs. August 2019. Download unter: https://www.owp.csus.edu/LIDTool/Content/PDF/LID_Tool_Manual.pdf
- Deister, L.; Brenne, F.; Stokman, A.; Henrichs, M.; Jeskulke, M.; Hoppe, H.; Uhl, M. (2016): Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung - Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter. Ergebnisbericht Teilprojekt C.1 - Freiraumplanerische Gestaltungsstrategien zur Regenwasserbewirtschaftung und Überflutungsvorsorge im Verbundprojekt der BMBF-INIS Fördermaßnahme „Die Stadt als hydrologisches System im Wandel - Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts“ (SAMUWA). Hg. v. Institut für Landschaftsplanung und Ökologie Universität Stuttgart (ILPOE). SAMUWA-Publikation. Online verfügbar unter https://www.project.uni-stuttgart.de/samuwa/img/pdfs/leitfaden_wassersensible_stadtentwicklung.pdf.
- DESTATIS (2022): Flächenindikator "Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche". Internetseite <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/anstieg-suv2.html>. Zuletzt geprüft am 11.01.2023
- Dittmer, U. (Hrsg.) (2016): Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts. Tagungsband zur Abschlussveranstaltung des BMBF-Verbundprojekts SAMUWA. 10.05.2016 Stuttgart und 14.06.2016 Münster. SAMUWA Publikation
- DWA (2021): Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte. DWA-Positionen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef. Stand April 2021. Download unter: https://de.dwa.de/files/_media/content/01_DIE_DWA/Politikinformationen/Positionspapiere/Positionspapier_Wasserbewusste_Entwicklung_unserer_St%C3%A4dte_2021_Netz.pdf
- DWA (2020): Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau und Betrieb, DWA-Arbeitsblatt A 138 (Entwurf), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall (DWA), Hennef. November 2020

- EC (2019a): Bericht der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Überprüfung des Fortschritts bei der Umsetzung der EU-Strategie für grüne Infrastruktur. COM/2019/236 final. Brüssel, 24.05.2019. Download unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0236&qid=1562053537296> (zuletzt geprüft: 11.01.2023)
- EC (2019b): Commission Staff Working Document. Additional information on the review of implementation of the green infrastructure strategy Accompanying the document Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European AN Economic and Social Committee and the Committee of Regions. Review of progress on implementation of the EU green infrastructure strategy. SWD/2019/184 final. Brüssel, 24.05.2019. Download unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019SC0184&qid=1562054969676&from=EN>
- Eisenberg, B.; Morandi, C.; Richter, P.; Well, F.; Winker, M.; Minke, R.; Steinmetz, H. und Ludwig, F. (2021): The Impulse Project Stuttgart—Stimulating Resilient Urban Development Through Blue-Green Infrastructure. In: Hutter, G., Neubert, M., Ortlepp, R. (eds) Building Resilience to Natural Hazards in the Context of Climate Change. Studien zur Resilienzforschung. Springer, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33702-5_7
- Fletcher, T. D.; Shuster, W.; Hunt, W. F.; Ashley, R. M.; Butler, D.; Arthur, S. et al. (2014): SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. In: Urban Water Journal, S. 1–18.
- Fuchs, L. (2017): Regenwasserbewirtschaftung in China am Beispiel der Stadt Changde. In: Muschalla, D.; Gruber, G. (Hg.): Urbanes Niederschlagswassermanagement im Spannungsfeld zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen. Tagungsband Aqua Urbanica 2017. 03.-04.07.2017 Graz, Österreich. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz. DOI: 10.3217/978-3-85125-534-8
- Heilbronn (o.J.): Bundesgartenschau-Gelände. Webseite der Stadt Heilbronn. <https://www.heilbronn.de/umwelt-mobilitaet/gruenes-heilbronn/buga-gelaende.html>
- Helix Pflanzensysteme GmbH (2022): Wasserverbrauch Helix Compacta. Grundlage zur Abschätzung des Wasserverbrauchs im Jahresverlauf. Kornwestheim. Persönliche Mitteilung.
- Hoyer, J.; Dickhaut, W.; Kronawitter, L.; Weber, B. (2011): Water Sensitive Urban Design - Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future. Manual. Elaborated in the context of the research project SWITCH – Managing Water for the City of the Future. HafenCity Universität Hamburg.
- Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker (IPS) (o.J.): Das Projekt Rummelsburger Bucht / Schwammstadtprinzip. Internetseite. <https://www.sieker.de/projekte/forschungsprojekte/project/verdunstungskuehlung-in-staedten-181.html>. zuletzt abgerufen am 14.09.2019
- Köster, S.; Elsner, K.; Feng, T.; Beier, M. (2018): Was bedeutet die Umsetzung des Schwammstadt-Konzeptes für das urbane Wassermanagement in Metropolregionen? In: Pinnekamp, J. (Hg.). 51. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft. Essen - Messe Ost, 14. bis 16. März 2018. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, Band 247, 4/1-4/15.
- Ludwig, F.; Well, F.; Moseler, E.-M.; Eisenberg, B.; Deffner, J.; Drautz, S.; Elnagdy, M.T.; Friedrich, R.; Jaworski, T.; Meyer, S.; Minke, R.; Morandi, C.; Müller, H.; Narvaéz Vallejo, A.; Richter, P.; Schwarz-von Raumer, H.-G.; Steger, L.; Steinmetz, H.; Wasielewski, S.; Winker, M. (2021): Integrierte Planung blau-grüner Infrastrukturen. Ein Leitfaden. Hg.: F. Ludwig, F. Well, E.-M. Moseler und B. Eisenberg. München. DOI:10.14459/2021md1638459. Download unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1638459/1638459.pdf>
- Matzinger, A., Riechel, M., Remy, C., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Joswig, K., Rehfeld-Klein, M., Reichmann, B. (2017): Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. April 2017. http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente_Verwaltung/pdf/20170428_Leitfaden_Regenwasser_full_final_med_res.pdf

- SenSBW (2022): FIS-Broker. Geoportal der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen der Stadt Berlin. Internet-Link: <https://www.berlin.de/sen/sbw/stadtdaten/geoportal/>
- SenSE (2011): Berlin – wohnenswerte Stadt. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Kommunikation. Jörg Niendorf (Red.). Stand Mai 2011. Internet-link: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/wohnen/wohnungsbau/download/ausstellung_wohnenswerte_stadt.pdf
- Stadt Mannheim: Strukturplanung Konversion (Bericht), Mannheim 2013.
- Statistisches Bundesamt: Bundesstatistik zur Flächennutzung, Indikator "Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche", <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/anstieg-suv2.html>, Wiesbaden 2023.
- Trapp, J. H. und Winker, M. (Eds.) (2020): Blau-grün-graue Infrastrukturen vernetzt planen und umsetzen. Ein Beitrag zur Klimaanpassung in Kommunen. ISBN 978-3-88118-660-5. März 2020. https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/281578/1/20200507_Sonderveroeffentlichung%20netWORKS4.pdf
- Uhl, M. und Hörschemeyer, B. (2022): Wasserbewusste Entwicklung des Oxford-Quartiers in Münster. In: Disch, A. und Rieckermann, J. (Eds.), "Grün statt grau" Tagungsband der Aqua Urbanica 2022 Konferenz, Glattfelden 14.-15. November 2022, Eawag, Abteilung für Siedlungswasserwirtschaft. Download unter: https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/tugrazExternal/c76c507b-d7bb-4008-944c-284302b6351a/PDFs/2022/Tagungsband/AU2022_Tagungsband_20221108_lowres.pdf
- Wörten, M.; Wanschura, B.; Dreiseitl, H.; Noiva, K.; Wescoat, J.; Moldaschl, M. (Eds.) (2016): Enhancing Blue-Green Infrastructure and Social Performance in High Density Urban Environments: Summary Document. Ramboll Liveable Cities Lab, Überlingen, Germany
- Wong, T. H. F. and Brown, R. R. (2009): The water sensitive city: principles for practice. Water Science and Technology, 60(3), 673.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Dittmer, Dr.-Ing. Christian Scheid, Florian Wilhelm
RPTU Kaiserslautern Landau, Fachbereich Bauingenieurwesen,
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern
ulrich.dittmer@rptu.de, christian.scheid@rptu.de

Dr. Martin Rumberg
RPTU Kaiserslautern Landau, Fachbereich Raum- und Umweltplanung,
Professur für Stadtplanung
Pfaffenbergstraße 95/Geb. 1, 67663 Kaiserslautern
martin.rumberg@rptu.de

Ralf Minke, Till Jaworski, Eduard Rott
Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und
Abfallwirtschaft
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart
ralf.minke@iswa.uni-stuttgart.de, till.jaworski@iswa.uni-stuttgart.de,
eduard.rott@iswa.uni-stuttgart.de