

## netWORKS-Papers

**Die Kopplungsmöglichkeiten von grünen,  
grauen und blauen Infrastrukturen mittels  
raumbezogener Bausteine**

Martina Winker  
Fanny Frick-Trzebitzky  
Andreas Matzinger  
Engelbert Schramm  
Immanuel Stieß



netWORKS-Papers

**Heft 34 Die Kopplungsmöglichkeiten von  
grünen, grauen und blauen Infra-  
strukturen mittels raumbezogener  
Bausteine**

(Martina Winker, Fanny Frick-Trzebitzky, Andreas Matzinger,  
Engelbert Schramm, Immanuel Stieß)

## Impressum

### Autorinnen und Autoren

Martina Winker<sup>1</sup>, Fanny Frick-Trzebitzky<sup>1</sup>, Andreas Matzinger<sup>2</sup>, Engelbert Schramm<sup>1</sup>,  
Immanuel Stieß<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung

<sup>2</sup> Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

### Herausgeber

Forschungsverbund netWORKS

[www.networks-group.de](http://www.networks-group.de)

Diese Veröffentlichung basiert auf Forschungsarbeiten im Verbundvorhaben „Resilient networks: Beiträge von städtischen Versorgungssystemen zur Klimagerechtigkeit (netWORKS 4)“. Das Forschungsprojekt netWORKS 4 wird unter dem Förderkennzeichen 01UR1622A-D innerhalb der Fördermaßnahme „Nachhaltige Transformation urbaner Räume“ im Förderschwerpunkt „Sozial-ökologische Forschung“ als Bestandteil des BMBF-Programms „Forschung für nachhaltige Entwicklungen (FONA)“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

### Textverarbeitung

Harry Kleespies

Julia Krebs

### Verlag und Vertrieb

Deutsches Institut für Urbanistik GmbH

Zimmerstr. 13-15

10969 Berlin

Telefon: +49 30 39001-0

Telefax: +49 30 39001-100

E-Mail: [difu@difu.de](mailto:difu@difu.de)

Internet: [www.difu.de](http://www.difu.de)

Alle Rechte vorbehalten

Berlin, August 2019

ISBN: 978-3-88118-650-6

Forschungsverbund netWORKS im Vorhaben „Resilient networks: Beiträge von städtischen Versorgungssystemen zur Klimagerechtigkeit (netWORKS 4)“

Deutsches Institut für Urbanistik GmbH (Difu)  
Jan Hendrik Trapp (Koordination)  
Zimmerstr. 13-15  
10969 Berlin  
Telefon: +49 30 39001-210  
E-Mail: trapp@difu.de



ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung  
Dr.-Ing. Martina Winker (Koordination)  
Hamburger Allee 45  
60486 Frankfurt  
Telefon: +49 69 7076919-53  
E-Mail: winker@isoe.de



Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH  
Dr. Pascale Rouault  
Cicerostr. 24  
10709 Berlin  
Telefon: +49 30 53653-816  
E-Mail: pascale.rouault@kompetenz-wasser.de



Berliner Wasserbetriebe AöR  
Forschung und Entwicklung  
Michel Gunkel  
Cicerostr. 24  
10709 Berlin  
Telefon: +49 30 8644-18047  
E-Mail: michel.gunkel@bwb.de



Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz  
Berlin  
Abteilung Integrativer Umweltschutz  
Referat Wasserrecht, Wasserwirtschaft und Geologie  
Matthias Rehfeld-Klein  
Brückenstr. 6  
10179 Berlin  
Telefon: +49 30 9025-2003  
E-Mail: Matthias.Rehfeld-Klein@senuvk.berlin.de



Senatsverwaltung  
für Umwelt, Verkehr  
und Klimaschutz

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin  
Abteilung II - Städtebau und Projekte  
Fachbereich: Grundsatzangelegenheiten der Ökologie im  
Bauwesen/Ökologische Gebäudekonzepte,  
Modellvorhaben  
Brigitte Reichmann  
Württembergische Str. 6  
10707 Berlin  
Telefon: +49 30 90139-4322  
E-Mail: [brigitte.reichmann@sensw.berlin.de](mailto:brigitte.reichmann@sensw.berlin.de)



Senatsverwaltung  
für Stadtentwicklung  
und Wohnen

Stadt Norderstedt  
Die Oberbürgermeisterin  
Amt Nachhaltiges Norderstedt  
Herbert Brüning  
Rathausallee 50  
22846 Norderstedt  
Telefon: +49 40 53595-367  
E-Mail: [herbert.bruening@norderstedt.de](mailto:herbert.bruening@norderstedt.de)



Ramboll Studio Dreiseitl GmbH  
Jeremy Anterola  
Stadtdeich 7  
20097 Hamburg  
Telefon: +49 40 32818-212  
E-Mail: [jeremy.anterola@dreiseitl.com](mailto:jeremy.anterola@dreiseitl.com)



## Inhalt

|   |    |
|---|----|
| Tabellenverzeichnis .....   | 7  |
| Abkürzungsverzeichnis .....   | 8  |
| Einleitung .....  | 9  |
| 1 Überblick für Eilige (Zusammenfassung) .....  | 11 |
| 2 Hintergrund .....   | 12 |
| 3 Planungsoptionen für eine nachhaltige Wasserinfrastruktur .....   | 14 |
| 3.1 Betrachtete Klimafolgen (Anpassung an den Klimawandel) .....  | 14 |
| 3.2 Planerische Ziele .....   | 15 |
| 3.2.1 Identifikation .....  | 16 |
| 3.2.2 Erlebbarkeit .....  | 16 |
| 3.2.3 Begegnung .....   | 16 |
| 3.2.4 Umweltbildung .....   | 16 |
| 3.2.5 Luftreinhaltung .....   | 16 |
| 3.2.6 Lärmschutz .....  | 17 |
| 3.2.7 Verbesserung Stadtklima/Reduktion Hitzebelastung .....  | 17 |
| 3.2.8 Natürlicher Wasserhaushalt .....  | 17 |
| 3.2.9 Gewässerschutz .....  | 17 |
| 3.2.10 Grundwasserschutz .....  | 18 |
| 3.2.11 Klimaschutz .....  | 18 |
| 3.2.12 Erhaltung und Verbesserung der Biodiversität .....   | 18 |
| 3.2.13 Sicherstellung der Nahrungsmittel- und Produktion von nachwachsenden<br>Rohstoffen (NaWaRo-Produktion) ..... | 19 |
| 3.2.14 Sicherstellung der Wasserversorgung .....  | 19 |
| 3.2.15 Urbanes Gärtnern .....   | 19 |
| 3.2.16 Aufenthaltsqualität .....  | 20 |
| 3.3 Verbesserung des physischen Wohlbefindens .....   | 20 |
| 3.4 Nutzung von Wasser aus unterschiedlichen Medien .....   | 21 |
| 3.5 Bausteine zur Kopplung von Infrastrukturen .....  | 23 |
| 3.5.1 Dachbegrünung .....   | 25 |
| 3.5.2 Fassaden-/Wandbegrünung .....   | 26 |
| 3.5.3 Innenraumbegrünung .....  | 27 |
| 3.5.4 Nicht-gebäudebezogene Bauwerksbegrünung .....   | 27 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.5.5  | Grünflächen und grüne Freiräume .....   | 28 |
| 3.5.6  | Versickerung mit Bodenpassage .....   | 28 |
| 3.5.7  | Versickerung unterirdisch .....   | 29 |
| 3.5.8  | Bewässerung .....   | 30 |
| 3.5.9  | Technische Gebäudekühlung .....   | 30 |
| 3.5.10 | Technische Reinigung von Niederschlagswasser .....                                  | 31 |
| 3.5.11 | Technische Reinigung von Abwasser .....   | 31 |
| 3.5.12 | Toilettenspülung .....  | 31 |
| 3.5.13 | Kanalspülung .....  | 32 |
| 3.5.14 | Entsiegelung/Vermeidung von Versiegelung .....                                      | 32 |
| 3.5.15 | Stauraum im Kanaleinzugsgebiet .....  | 33 |
| 3.5.16 | Wasserflächen .....   | 33 |
| 3.5.17 | Wasserspiele .....  | 34 |
| 3.5.18 | Kommerzielles Urban Farming .....   | 34 |
| 3.5.19 | Multifunktionale Rückhalteräume .....   | 35 |
| 3.5.20 | Naturnahe Reinigungsverfahren .....   | 36 |
| 4      | Leitfaden zur Identifikation, Zuordnung und Bewertung der Bausteine .....           | 37 |
| 5      | Wirkungspotenziale der Bausteine .....  | 39 |
| 5.1    | Übersicht über die Potenziale der Bausteine zur Erreichung planerischer Ziele ..... | 39 |
| 5.2    | Wirkungspotenziale zur Anpassung an den Klimawandel .....                           | 45 |
| 5.3    | Wirkungspotenziale zur Verbesserung des physischen Wohlbefindens .....              | 47 |
| 5.3.1  | Grüne Bausteine .....   | 49 |
| 5.3.2  | Blaue Bausteine .....   | 49 |
| 5.4    | Koordinationsaufwand .....  | 50 |
| 6      | Bewertungsmethodik .....  | 52 |
| 6.1    | Ökosystemleistungen .....   | 52 |
| 6.2    | Auswahl, Definition und Bewertung der verwendeten Indikatoren .....                 | 55 |
| 6.2.1  | Koordinationsaufwand .....  | 61 |
| 6.2.2  | Verbesserung physisches Wohlbefinden .....  | 62 |
| 6.3    | Auswahl von Zielen und Zuordnung von Indikatoren .....                              | 66 |
| 6.4    | Medienabhängigkeit .....  | 66 |
| 7      | Literaturverzeichnis .....  | 68 |

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tab. 1: Identifizierte Klimaveränderungen und deren wasserrelevante Problematik im urbanen Raum.....                                 | 15 |
| Tab. 2: Definitionen Wassermedien .....  | 22 |
| Tab. 3: Zuordnung der Bausteine zum Infrastrukturtyp grün, grau, blau .....  | 24 |
| Tab. 4: Wirkungspotenziale der Bausteine hinsichtlich der planerischen Ziele .....   | 40 |
| Tab. 5: Wirkungspotenziale der Bausteine hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel .....   | 46 |
| Tab. 6: Art der gesundheitsförderlichen Wirkung je Baustein .....  | 48 |
| Tab. 7: Koordinationsaufwand Stand des Wissens, Planung und Umsetzung, Betrieb unter Berücksichtigung ihrer Medienabhängigkeit ..... | 51 |
| Tab. 8: Grundtypen und zugeordnete spezifische Ökosystem(dienst)leistungen (nach ebd.: 57, vereinfacht).....                         | 53 |
| Tab. 9: Definitionen der bewerteten Indikatoren .....  | 56 |
| Tab. 10: Bewertungsskala Potenzialabschätzung .....  | 60 |
| Tab. 11: Zuordnung (Leit-)Indikatoren zur Anpassung an den Klimawandel.....  | 61 |
| Tab. 12: Indikatoren des physischen Wohlbefindens .....  | 63 |
| Tab. 13: Verringerung der gesundheitlichen Belastung durch Ökosystemleistungen. ....   | 64 |

## Abkürzungsverzeichnis

|        |  |
|--------|--|
| AFS    | Abfiltrierbare Stoffe  |
| FFH    | Flora-Fauna-Habitat SRichtlinie der Europäischen Union   |
| KURAS  | BMBF-Projekt „Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme“ ( <a href="http://www.kuras-projekt.de">www.kuras-projekt.de</a> ) |
| MEA    | Millenium Ecosystem Assessment   |
| NaWaRo | Nachwachsende Rohstoffe  |
| RRB    | Regenrückhaltebecken   |
| UTCI   | Universal Thermal Climate Index  |
| WHG    | Wasserhaushaltsgesetz (Bundesebene)  |
| WRRL   | Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union  |

## Einleitung

Infrastrukturen sind die Grundlage für das Leben in modernen Gesellschaften und die Voraussetzung für Wohlstand. Mit ihren Ver- und Entsorgungsleistungen befriedigen sie menschliche Bedürfnisse. Im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft gilt es, die Bürger\*innen ausreichend, zu erschwinglichen Preisen und zuverlässig mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser zu versorgen und eine umweltverträgliche Abwasserentsorgung zu gewährleisten. Die bestehenden Infrastruktursysteme werden – zum Beispiel durch demographische Veränderungen, den Druck zur Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz zum Klimaschutz und die Auswirkungen des Klimawandels – in ihrer Funktionsweise und Gestaltung herausgefordert. Zugleich ergeben sich im Zuge des technologischen Wandels und der Digitalisierung neue Ansätze, Verfahren und zunehmend vernetzte und sektorenübergreifende Steuerungsoptionen.

Infrastrukturen, die vor 100 Jahren noch als „richtig“ und angemessen erschienen, werden sich mit Blick auf die genannten Treiber anpassen bzw. transformieren müssen. Konkret erfordern die Folgen des Klimawandels, wie Starkniederschläge, Hochwasser, Hitze- und Trockenperioden, nicht nur angepasste technische Lösungen, sondern auch veränderte Verfahren und Prozesse zur integrierten Planung der Stadt und ihrer (Wasser-)Infrastrukturen sowie ihrer Umsetzung. Diesen Herausforderungen müssen sich Planerinnen und Planer sowie Betreiber von Infrastrukturen stellen.

Der Forschungsverbund netWORKS hat es sich zur Aufgabe gemacht, innovative und nachhaltige Lösungen im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu erarbeiten. Insbesondere gilt es, Abwasser als Ressource zu verstehen, indem etwa leicht verschmutztes Abwasser (sog. Grauwasser) wiederverwendet wird, Nährstoffe aus dem Abwasser aufbereitet werden sowie die Abwasserwärme genutzt wird.

In seinem vierten Projekt „Resilient networks: Beiträge von städtischen Versorgungssystemen zur Klimagerechtigkeit“ (netWORKS 4) liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Planung und Umsetzung einer nachhaltigen und klimagerechten Wasserinfrastruktur in Verbindung mit grünen Infrastrukturen (z. B. Gründächer, Freiflächen, Parks) und natürlichen und künstlichen Gewässern (auch als „blaue Infrastruktur“ bezeichnet). Diese Kopplung von grauen (technischen), grünen und blauen Infrastrukturen wird anhand von Realisierungsmöglichkeiten in konkreten Quartieren in Norderstedt (Schleswig-Holstein) und Berlin beispielhaft geplant, auf Umsetzungspotenzialen und -barrieren hin geprüft und analysiert.

Auf dem Weg zu einer flächendeckenden Umsetzung von nachhaltigen Wasserinfrastrukturen sind noch viele offene Fragen von Kommunen und Planenden zu beantworten. Inwiefern können durch die Kopplung von grün-grau-blauen Infrastrukturen Mikroklima und Stadtökologie positiv beeinflusst werden? Wie wirkt dieser integrierte Planungs- und Gestaltungsansatz auf die technische (Wasser-)Infrastruktur zurück und trägt zu ihrer Transformation bei? Wie kommen die Akteure vor Ort zu einer umfassenden Bewertung und Auswahl von geeigneten Maßnahmen? Wie lassen sich private und halb-öffentliche Flächen funktional in die Wasserbewirt-

schaftung einbinden? Welche Verfahren und Prozesse kommunaler Planung sind geeignet, neue Ansätze anzustoßen? Wie kann die Verknüpfung von Grünflächen, Wasserinfrastrukturen und anderen stadtechnischen Infrastrukturen zu einer Verbesserung der bisherigen Infrastruktur und zu mehr Klimagerechtigkeit führen? All diesen Fragen widmet sich netWORKS 4.

Der Forschungsverbund netWORKS setzt sich interdisziplinär aus Forscher\*innen sowie Praxispartner\*innen aus Kommunen und Ver- und Entsorgungsunternehmen zusammen. Die Maxime ist, die verschiedenen Erfahrungsschätze und unterschiedlichen Sichtweisen zu kombinieren, um die erarbeiteten Ergebnisse praxisnah reflektieren und weiterentwickeln zu können. Wir hoffen, mit den Ergebnissen einen Beitrag zur Unterstützung der Kommunen bei der Transformation der Wasserinfrastruktur zu leisten.

Berlin und Frankfurt am Main, im August 2019

Forschungsverbund netWORKS

Verbundkoordination

## 1 Überblick für Eilige (Zusammenfassung)

### Was will das vorliegende netWORKS-Paper?

Im Sinne der Aufgabe des netWORKS-Forschungsverbundes soll das vorliegende Paper Kommunen, Planern sowie Betreibern der Wasserver- und -entsorgung in Entscheidungs- und Planungsprozessen als Grundlage und Orientierung für die Weiterentwicklung und Veränderung von Infrastrukturen, insbesondere von Wasserinfrastrukturen, dienen. Der Blick richtet sich hierbei besonders auf die Anpassung an den Klimawandel und damit einhergehenden Effekten auf sozialer, gesundheitlicher und ökologischer Ebene (vgl. Kap. 2).

Anhand des vorliegenden Papers kann also eine Einordnung von verschiedenen Infrastrukturbausteinen, wie z. B. Dachbegrünung oder Bewässerung, und eine Bewertung von deren Wirkungen auf mehreren Ebenen erfolgen. Im Fokus stehen dabei die Erreichung planerischer Ziele, die Anpassung an den Klimawandel sowie die Verbesserung des physischen Wohlbefindens der Bevölkerung. Die Nutzung von unterschiedlichen Wasserressourcen wie z. B. Regen- oder Grauwasser sowie der Koordinationsaufwand (Stand des Wissens, Planung und Umsetzung, Betrieb) werden jeweils in Betracht gezogen. Das Paper dient damit als Planungshilfe und Orientierung zur Gestaltung, Weiterentwicklung und Veränderung von Wasserinfrastruktur in Anpassung an aktuelle und kommende Herausforderungen.

### Welche Informationen hält es bereit?

Dazu hält das netWORKS-Paper Informationen zur Abschätzung der Wirkungspotenziale der einzelnen Bausteine der Wasserinfrastruktur bereit. Jeder Baustein fasst mehrere Einzelmaßnahmen ähnlichen Typs zusammen. Z. B. enthält der Baustein Dachbegrünung die beiden Einzelmaßnahmen extensive und intensive Dachbegrünung. Bewertet wurden insgesamt 20 verschiedene Bausteine, die wiederum 68 Einzelmaßnahmen repräsentieren. Die Bausteine können entsprechend ihrer Sichtbarkeit der grünen, grauen und/oder blauen Infrastruktur zugeordnet werden. Unter grüner Infrastruktur werden Bausteine verstanden, die oberflächlich als grün erscheinen, also bspw. von Pflanzen bewachsen sind. Blaue Infrastruktur fasst diejenigen Bausteine zusammen, die von oberflächlich sichtbarem Wasser („blau“) geprägt sind. Rein technische Bausteine zählen zur grauen Infrastruktur. Die Beschreibung der einzelnen Bausteine beinhaltet zunächst die enthaltenen Einzelmaßnahmen und die räumliche Skala, auf der der Baustein zur Anwendung kommt, sowie Hinweise zur Nutzung unterschiedlicher Wasserressourcen im jeweiligen Baustein (vgl. Kap. 3.5). Für jeden Baustein werden schließlich Wirkungspotenziale bezüglich der planerischen Ziele, des Koordinationsaufwandes, der Anpassung an den Klimawandel – dazu zählen z. B. Starkregen oder Trockenperioden – und der Verbesserung des physischen Wohlbefindens, z. B. in Form von reduzierter Stressbelastung, dargelegt (vgl. Kap. 5). Die Potenzialabschätzungen sagen aus, inwiefern der jeweilige Baustein das Potenzial zur Erreichung der planerischen Ziele oder zur Anpassung an den Klimawandel mit sich bringt. Für die angesprochenen Zielgruppen bündeln sie die Kerninformationen, die sie

z. B. in Planung und Entscheidung verwenden können. Die zugrunde liegenden Bewertungsgrundlagen werden in Kap. 6 im Detail erläutert.

### **Wofür kann es verwendet werden?**

Das Paper kann genutzt werden, um die besonders wirkmächtigen Bausteine für den jeweils vorliegenden Bedarf zu identifizieren. Elementar für die Planungspraxis sind neben den umfassenden Hintergrundinformationen vor allem die gebündelten Ergebnisse zu den Wirkungspotenzialen der Bausteine in Kapitel 5. Diese sind vorwiegend tabellarisch aufgearbeitet und zeigen das Potenzial zur Erreichung der planerischen Ziele (Kap. 5.1, Tabelle 4), zur Anpassung an den Klimawandel (Kap.5.2, Tabelle 5) und zur Verbesserung des physischen Wohlbefindens (Kap. 5.3) auf.

### **Wie ist es anzuwenden?**

Kapitel 4 bietet einen Leitfaden zur zielgerichteten Identifikation und Bewertung einzelner Bausteine auf Grundlage der in Kapitel 5 dargestellten Potenziale. Anhand der gewünschten planerischen Ziele, dazu zählen etwa die Verbesserung des Stadtklimas oder die Sicherstellung der Wasserversorgung, werden diejenigen Bausteine mit dem höchsten Potenzial ausgewählt. Diese werden in einem zweiten Schritt einem Prüfverfahren hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit unter lokalen Rahmenbedingungen und ihrer möglichen Abhängigkeit von verschiedenen Wasserressourcen unterzogen. Ergebnis ist eine Auswahl an Bausteinen, die ein hohes Potenzial mit sich bringen, die planerischen Ziele zu erreichen. Diese Auswahl kann in weiteren Schritten bezüglich ihres Potenzials zur Klimawandelanpassung und zur Verbesserung des physischen Wohlbefindens untersucht werden. Endergebnis ist eine Auswahl an Bausteinen, die zusätzlich zur Anpassung an den Klimawandel und/oder zur Verbesserung des physischen Wohlbefindens beitragen. Analog zum beschriebenen Vorgehen kann natürlich auch zunächst die Anpassung an den Klimawandel oder die Verbesserung des physischen Wohlbefindens als primäres Auswahlinstrument gewählt werden. Neben dieser systematischen Anwendung kann das vorliegende Paper natürlich auch für eine Prüfung und Erweiterung bestehender Planungen und umgesetzter Konzepte verwendet werden.

## **2 Hintergrund**

Ein zentraler Stellenwert bei der Anpassung an den Klimawandel und Klimagerechtigkeit von Städten, und damit deren Lebensqualität, kommt den Wasserinfrastrukturen zu. Menschliche Gesundheit und Unversehrtheit sowie wirtschaftliche Entwicklung hängen gleichermaßen vom Vorhandensein einer funktionierenden Wasserver- und Abwasserentsorgung ab. Von den Bewohner\*innen wird diese wichtige Funktion kaum bewusst wahrgenommen. Denn zu wenig sichtbar sind die größtenteils unterirdischen Wasserinfrastrukturen. „Auffällig“ werden sie jedoch

dann, wenn sie als unzureichend eingeschätzt werden, wie zum Beispiel bei Überschwemmungen nach Starkregenereignissen.

Zunehmende Folgen des Klimawandels (vgl. UBA 2015a) wie Starkniederschläge und Hochwasser sowie Hitze- und Trockenperioden, aber auch andere sich wandelnde Rahmenbedingungen (für Details siehe Kap. 3.1) stellen veränderte Anforderungen an bestehende Konzepte und Infrastrukturen der Siedlungswasserwirtschaft. Sie müssen robust und anpassungsfähig sein, d. h. resilient gegenüber den Folgen des Klimawandels wie Starkniederschlägen oder Hitzeperioden. Zugleich müssen sie den ressourcenschonenden Umgang mit Wasser in der Stadt unterstützen. Um das zu leisten, ist die Verknüpfung von grünen, grauen und blauen Infrastrukturen sinnvoll.

Die nachhaltige Transformation urbaner Räume hängt demnach unmittelbar mit der Frage zusammen, wie der Umbau der Wasserinfrastrukturen im Wechselspiel von stadttechnischer (grauer) Infrastruktur mit den grünen (Grünanlagen, Gründächer usw.) und blauen Infrastrukturen (Wasserkörper/Gewässer) einschließlich ihrer biologischen Ressourcen und den damit verbundenen Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen gelingt. Als gestalterisches Element besitzen die „Wasserlandschaften“ (Dreiseitl/Grau 2006) eine wichtige Funktion sowohl zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität wie auch der Bewirtschaftung von Regen- und Grauwasser. Als blaue Infrastruktur besitzen sie in Verbindung mit der grünen zudem eine große Bedeutung für das städtische Mikroklima und die Stadtökologie.

Wo grüne, graue und blaue Infrastruktur überlappen existieren vielfältige Maßnahmen – hier zu Bausteinen zusammengefasst, siehe Tabelle 3 – die geeignet sind, eine nachhaltige Bewirtschaftung von Regenwasser und häuslichem Abwasser zu ermöglichen und gleichzeitig den urbanen Raum zu gestalten. Dabei kann die Überlappung der grünen, grauen und blauen Infrastruktur zum einen in einem Baustein selbst angelegt sein, der die verschiedenen Infrastrukturelemente in sich vereint, wie z. B. multifunktionale Rückhalteräume, die Grünflächen bzw. Freiflächen sind und während Starkregen zu Wasserflächen werden. Zum anderen kann die Überlappung durch die Kombination von mehreren Bausteinen wie z. B. Dachbegrünung mit Bewässerung erfolgen. Ziel dieses netWORKS-Papers ist es, einen Überblick über die identifizierten Bausteine zu geben. Dabei sollten insbesondere die vielfältigen Wirkpotenziale der Bausteine und ihrer Kombination aufgezeigt werden. Entsprechend werden ihre Eigenschaften und Merkmale mit Blick auf Ökosystemleistungen, Koordinationsaufwand und Beitrag zur Erreichung planerischer Ziele dargestellt. Daraus wird ihr Beitrag zu einer Transformation der einzelnen Infrastrukturen aufgezeigt und damit eine Basis für mehr Klimagerechtigkeit in der Stadt geschaffen<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Vgl. hierzu weitere Publikationen aus dem Forschungsverbund netWORKS4, z.B. Schramm et al. (in Bearbeitung)

### 3 Planungsoptionen für eine nachhaltige Wasserinfrastruktur

#### 3.1 Betrachtete Klimafolgen (Anpassung an den Klimawandel)

Es wurden Bausteine ausgewählt, welche eine Antwort auf die Folgen der beobachteten und erwarteten Klimaveränderung bieten und sich für die städtische Anpassung an den Klimawandel eignen. Daher war es ein wichtiger Arbeitsschritt, die relevanten Klimafolgen zu identifizieren, die sich an urbanen Standorten in Deutschland einstellen. Zudem war es ein wichtiger Aspekt, dass bei diesen Bausteinen ein Wasserbezug besteht bzw. die Bausteine durch wasserseitige Maßnahmen Folgen abschwächen können.

Die globalen Jahresmitteltemperaturen steigen seit Ende des letzten Jahrhunderts – auch in Deutschland. Dieser Trend wird sich in den kommenden Jahrzehnten mit hoher Wahrscheinlichkeit fortsetzen. (Deutscher Wetterdienst 2017: 12; IPCC 2016: 4) Je nach Emissionsszenario und Klimamodell können die durchschnittlichen Sommer- und Wintertemperaturen in Deutschland bis Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zu 1971-2000 um 1,2 bis 4,6°C (Winter) und um 1,3 bis 4,8°C (Sommer) höher liegen (Brasseur/Jacob/Schuck-Zöllner 2017: 32). Die Ausprägung dieses Anstiegs äußert sich regional und saisonal unterschiedlich. So ist in den Sommermonaten mit einer stärkeren Temperaturzunahme in der Alpenregion als in Norddeutschland zu rechnen; in den Wintermonaten eher im Osten Deutschlands als im Westen. Im Allgemeinen ist in Süddeutschland eine stärkere Temperaturzunahme zu erwarten. (UBA 2015b: 68ff.) Zudem werden Hitzewellen und Perioden andauernder Temperaturextreme häufiger, länger und intensiver werden. Insbesondere Süd- und Ostdeutschland sowie die gesamte Alpenregion werden hiervon betroffen sein. Mit einer steigenden Anzahl an Sommertagen, heißen Tagen und Tropennächten ist generell und im nationalen Vergleich vermehrt in diesen Regionen zu rechnen (Brasseur/Jacob/Schuck-Zöllner 2017: 32, 51-55; UBA 2015b: 74, 75). Insbesondere die hochverdichteten und infrastrukturell stark vernetzten Regionen Deutschlands werden zusätzlich von diesen Folgen betroffen sein (UBA 2015b: 93, 657). Für die Städte bedeutet dies, dass sich der Wärmeinseleffekt verstärken und die thermische Belastung für den Menschen steigen wird.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Betrachtung der Relevanz des Klimawandels für den urbanen Raum ist die Veränderung der Niederschlagsverhältnisse. Hier konnten bereits in der Vergangenheit häufigere und intensivere Starkregenereignisse in Deutschland beobachtet werden (Schönwiese/Staeger/Trömel 2006: 9ff.). Mit steigenden Temperaturen ist auch mit einem höheren Anteil von Starkniederschlägen am Gesamtniederschlag zu rechnen. Statistisch signifikante Aussagen zu Trendentwicklungen sind allerdings aufgrund ihrer hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität kaum möglich (Brasseur/Jacob/Schuck-Zöllner 2017: 51; Becker et al. 2016: 1, 5). Untersuchungen zu Trends extremer Niederschlagsereignisse in der Stadt Köln zeigen jedoch, dass extreme Starkregenereignisse (> 99. Perzentil) bis Mitte des Jahrhunderts um etwa 10 bis 200 % (im Vgl. zu 1961-2000) häufiger auftreten können (LANUV 2013: 88, 89). Entsprechend der Entwicklungen der (extremen) Starkregenereignisse und daraus entstehen-

den Sturzfluten geht eine Zunahme von Überflutungen und Gewässerbelastungen einher (Brasseur/Jacob/Schuck-Zöller 2017: 100, 101). Insbesondere der urbane Raum mit einem hohen Grad an Versiegelung kann von einer steigenden Gefahr an Überflutungen und einem erhöhten Anspruch an das Abwassersystem betroffen sein. So geht beispielsweise das Land Berlin in seinem Stadtentwicklungsplan Klima von einer zukünftigen Verschärfung der Starkregenproblematik aus (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2016).

Weitere Veränderungen des Niederschlagsregimes können sich in einer tendenziellen Abnahme der sommerlichen Niederschläge hin zu einer Zunahme der winterlichen Niederschläge bis zum Ende des 21. Jahrhunderts äußern. Mit dem Anstieg der Temperaturen können sich niederschlagsfreie Perioden in den Sommermonaten (Trockenperioden) über weite Teile Deutschlands deutlicher ausprägen und bis Ende des Jahrhunderts im Vergleich zu heute um 20 bis 40 Tage länger andauern (UBA 2015b: 60, 61, 78). Aufgrund der natürlichen Variabilität der Niederschläge ist eine signifikante Aussage hierzu jedoch nicht möglich (Brasseur/Jacob/Schuck-Zöller 2017: 32).

Auf Basis dieser Recherche ließen sich die folgenden vier klimatischen Veränderungen in Verbindung mit ihrer jeweiligen wasserrelevanten Problematik identifizieren:

**Tab. 1: Identifizierte Klimaveränderungen und deren wasserrelevante Problematik im urbanen Raum**

|   | Klimaveränderung                  | Verursachte Problematik im urbanen Raum |
|---|-----------------------------------|---|
| 1 | Häufigere Starkregen              | Gewässerbelastung                       |
| 2 | Häufigere extreme Regenereignisse | Überflutung                             |
| 3 | Höhere Temperaturen               | Hitzebelastung am Tag und in der Nacht  |
| 4 | Längere Trockenperioden           | Wasserknappheit                         |

### 3.2 Planerische Ziele

Planerische Ziele stellen eine Verbindung zwischen den einzelnen Bausteinen und der Planungspraxis her. Ausgehend von Zielen wie der Verbesserung des Stadtklimas, die mit einem konkreten Planungsvorhaben verfolgt werden, können Bausteine identifiziert werden, die ein hohes Potenzial haben, diese Ziele zu erreichen. Die Verknüpfung erfolgt über Indikatoren, mit denen die Wirkungspotenziale einzelner Bausteine beschrieben werden und die sich planerischen Zielen zuordnen lassen. Die Indikatoren „Änderung Hitzestress“ und „Änderung Tropennächte“ lassen sich z. B. dem planerischen Ziel „Verbesserung Stadtklima“ zuordnen und jeweils für die unterschiedlichen Bausteine beschreiben. Nachfolgend werden die betrachteten Ziele vorgestellt; die Zuordnung der Indikatoren zu diesen Zielen wird in Kapitel 5, Tab. 5 dargestellt.

### 3.2.1 Identifikation

Die Stadt, bzw. das Umfeld eines Wohnquartiers, soll so gestaltet sein und wirken, dass sich die Bewohner damit identifizieren können. Die Identifikation mit einer Landschaft bezieht sich auf die subjektive Wahrnehmung und emotionale Bewertung einer Landschaft und die daraus entstehenden Gefühle der Verbundenheit und Zufriedenheit mit einem konkreten Ort. Diese Identifikation kann gestärkt werden, wenn blaue, grüne und graue Elemente so gestaltet werden, dass sie einem Ort eine bestimmte Eigenart oder Atmosphäre verleihen, die diesen Ort von anderen unterscheidet und eine Beziehung zu vergangenen Nutzungen herstellt.

### 3.2.2 Erlebbarkeit

Städter\*innen sollen in den Städten Natur (z. B. in Brachflächen) erleben können. „Naturerleben/Naturerfahrung fördert die Sinnesentwicklung, die Aufmerksamkeit für sich selbst und die Umwelt.“ (Böhm et al., 2016). Durch Aneignung, z. B. durch eigenes Gärtnern, „Sich Sonnen“ o.ä. wird die sinnliche Erfahrbarkeit erhöht, indem die Umwelt auf vielfältige Weise, d. h. über mehrere Sinne, erfahren wird. Konkret geht es um die sinnliche Erfahrbarkeit und Aneignbarkeit des Bausteins.

### 3.2.3 Begegnung

Die Gestaltung von Bausteinen soll das Zusammentreffen von Personen, insbesondere von Angehörigen unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen (Generationen, sonstige soziale Gruppierungen ...) im städtischen Raum grundsätzlich ermöglichen. Diese Begegnung im öffentlichen Raum soll Kontakt und soziale Beziehungen sowie Integration und Inklusion fördern, kann aber auch zu Konflikten führen (Nowak, o.D.).

### 3.2.4 Umweltbildung

Im Rahmen der formalen Umweltbildung soll ein verantwortungsbewusster Umgang mit der Umwelt und den natürlichen Ressourcen vermittelt werden. Im Kontakt grünen und blauen Elementen (z. B. in Schulgärten, an Gewässern ...) wird naturwissenschaftliches Verständnis und Handlungswissen zu Umweltschutz und gesunder Ernährung gefördert. Umweltbildung für Kinder und Erwachsene nutzt vielfältige didaktische Methoden.

### 3.2.5 Luftreinhaltung

Saubere Luft ist ein zentrales Ziel der Stadtentwicklung. Durch verschiedene, vor allem umwelttechnische und ordnungspolitische, aber auch landschaftsgestaltende Maßnahmen soll eine dauerhafte Vermeidung von Luftverunreinigungen bzw. eine nachhaltige Sicherstellung guter Luftqualität, also eine möglichst von Schadstoffen und Stäuben freie Luft bzw. ein Einhalten der gesetzlichen Grenzwerte für Luftschadstoffe, erreicht werden.

### 3.2.6 Lärmschutz

Durch verschiedene umwelttechnische, landschaftsgestaltende und ordnungspolitische Maßnahmen soll eine Lärmreduktion und eine Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte erreicht, bzw. Lärm vermieden werden. Maßnahmen zum Lärmschutz betreffen vorrangig den Umgebungslärm (Fluglärm, Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm, Gewerbelärm), aber auch den Sport- und Freizeitlärm.

### 3.2.7 Verbesserung Stadtklima/Reduktion Hitzebelastung

Ein gesundes Stadtklima ist ein zentrales Ziel der Stadtentwicklung. Durch verschiedene umwelttechnische, landschaftsgestaltende und ordnungspolitische Maßnahmen soll eine Verbesserung des Stadtklimas (z. B. eine Reduktion der Hitzebelastung) erreicht werden. Dabei wird unterschieden zwischen Belastungen im Freiraum (Straßenraum, Grünflächen), in Gewerbegebieten (Betriebe, Bürogebäude) und Wohngebieten. Im Freiraum und in Gewerbegebieten ist die Tagsituation, in Wohngebieten sind Tag- und Nachtsituation relevant. Die Verbesserung des Stadtklimas gilt als Einflussfaktor auf die menschliche Gesundheit.

### 3.2.8 Natürlicher Wasserhaushalt

Verdunstung, Grundwasserneubildung, Abfluss: Durch menschliche Eingriffe in die Natur wird der natürliche Wasserhaushalt eines Gebietes gestört. Insbesondere bauliche Maßnahmen, die mit einer Versiegelung von Böden einhergehen, verändern den Wasserhaushalt in einem Gebiet. Unter potenziell natürlichen Bedingungen (Grünflächen, Wälder) würde in Mitteleuropa der weitaus größte Teil des Niederschlagswassers verdunsten, ein kleiner Teil versickert in das Grundwasser und nur ein sehr geringer Teil fließt oberflächlich ab. Das Verhältnis von Verdunstung, Grundwasserneubildung und Abfluss variiert je nach klimatischen (heiß/kalt), topographischen (eben/ondolirt), geologischen (Bodentypen) und ökosystemaren (z. B. Art des Pflanzenbewuchs) Bedingungen. Stadtplanerisch orientiert man sich zunehmend an der natürlichen Wasserbilanz des Gebietes als Zielzustand. Daher soll durch geeignete Maßnahmen (u.a. hier betrachtete Bausteine der Regenwasserbewirtschaftung) der natürliche Zustand wieder hergestellt bzw. sich ihm angenähert werden. Eine Hilfestellung bietet das technische Regelwerk DWA A-102 (DWA/BWK 2016).

### 3.2.9 Gewässerschutz

Ziel des Gewässerschutzes in Deutschland ist es, allerorts Gewässer mit gutem chemischen und ökologischen Zustand zu erhalten bzw. wiederherzustellen (zur Erfüllung der EU Wasser-Rahmenrichtlinie (WRRL)). Dazu sollen die Gewässer, aber auch ihre Ufer und ihr Umfeld so erhalten bzw. wiederhergestellt werden, dass sich dort die für den jeweiligen Naturraum typischen Lebensgemeinschaften entwickeln können. Hierzu soll auch der stoffliche Eintrag in die Gewässer reduziert werden (Verschlechterungsverbot des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und der WRRL). Die konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips ist dabei von großer Bedeutung. Gerade in städtischen Gebieten mit Mischkanalsystem ist die Wasserqualität der

Oberflächengewässer regelmäßig durch den (kontrollierten) Überlauf aus dem Kanal im Falle von Starkregenereignissen gefährdet. Auch in städtischen Gebieten mit Trennkansalsystem können Gewässer einer starken hydraulischen (insbesondere kleine Fließgewässer) oder stofflichen (insbesondere kleine stehende Gewässer) Belastung ausgesetzt sein. Das Ziel des Gewässerschutzes muss sich je nach Größe des Kanaleinzugsgebiets nicht nur auf Oberflächengewässer im Planungsgebiet beziehen (sofern dort welche sind), sondern bezieht sich auch auf ggf. weit entfernt liegende Gewässer. Daneben sollte auch die Belastung der Gewässer mit Abwärme Beachtung finden; in großen Flüssen ist deren Nutzung für die Kühlung von Kraftwerken usw. insbesondere während des Sommers bereits heute durch Wärmelastpläne beschränkt.

### **3.2.10 Grundwasserschutz**

Grundwasser ist das Wasser im Untergrund. Diese unsichtbare Ressource ist ein wesentliches Element des Wasserkreislaufs und erfüllt wichtige ökologische Funktionen. Zudem ist es eine zentrale Trinkwasserressource in Deutschland. Das Grundwasser soll umfassend vor Verunreinigungen geschützt werden (Verschlechterungsverbot des WHG und der WRRL). Die konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips ist dabei von großer Bedeutung. Neben Belastungen durch Chemikalien wird künftig vermutlich auch eine Belastung des Grundwassers mit Abwärme (z. B. aufgrund von Geothermie-Nutzungen) thematisiert werden.

### **3.2.11 Klimaschutz**

Beim Pariser Abkommen haben sich 196 Staaten das Ziel gesetzt, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius oder sogar auf nicht mehr als 1,5 Grad Celsius zu begrenzen. Dazu soll in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts weltweit Treibhausgasneutralität erreicht werden. Für Deutschland bedeutet das eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % gegenüber dem Niveau von 1990. Dies soll durch Energieeffizienz und -einsparung, aber auch durch zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien geschehen. Für alle Bausteine der Regenwasser- und Abwasserbewirtschaftung sind Aufwendungen zu leisten (z. B. Baumaterial, Strom für Pumpen, Wartungsarbeiten), die in der Regel mit einem Verbrauch fossiler Energieträger und damit Treibhausgasemissionen einhergehen. Entsprechend sollen zur Unterstützung der Klimaschutzziele möglichst ressourceneffiziente Bausteine der gekoppelten Infrastruktur berücksichtigt werden.

### **3.2.12 Erhaltung und Verbesserung der Biodiversität**

Biodiversität bzw. biologische Vielfalt bezeichnet gemäß dem Übereinkommen über biologische Vielfalt (CBD) „die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören. Dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme“ (CBD 2010). Eine hohe Biodiversität erhöht die Resilienz von Ökosystemen gegenüber äußeren Störungen – wie z. B. klimabedingten Effekten (Trockenheit, Hitze) und in

diesem Zusammenhang möglicherweise auftretenden Schädlingen/Plagen. In der gesamtstädtischen Aufgabe der Erhaltung, nachhaltigen Nutzung und Vernetzung biologischer Vielfalt wird ein Schwerpunkt gesehen. Hierbei stehen die Vielfalt einzelner Tier- und Pflanzenarten, die Artenvielfalt als auch die landschaftliche Vielfalt im Blickpunkt der Betrachtung. Bei der Planung von Gebäude- und Grundstücksbegrünungen sind entsprechende Vorgaben zum Schutz der biologischen Vielfalt und zur Verwendung von Pflanzen gebietseigener Herkunft zu beachten.

### **3.2.13 Sicherstellung der Nahrungsmittel- und Produktion von nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo-Produktion)**

Angestrebt wird die Gewährleistung bzw. Sicherstellung von Nahrungsmitteln und Energie auch unabhängig von Zulieferungen vor Ort. Nahrungsmittel werden häufig über große Entfernungen transportiert. Die Versorgung ist damit von Verkehrsinfrastruktur und -kosten abhängig. Die Strom- und Wärmeversorgung in Städten ist größtenteils fossil. Daher sollen mögliche Flächen genutzt werden, die in der Nähe der Konsumenten liegen bzw. Sekundärrohstoffe für die Energieversorgung innerstädtisch bieten.

### **3.2.14 Sicherstellung der Wasserversorgung**

Die öffentliche Versorgung mit Trinkwasser ist in Deutschland eine Aufgabe der Daseinsvorsorge (§ 50 Abs. 1 Wasserhaushaltsgesetz). In fast allen Bundesländern handelt es sich dabei um eine gemeindliche Pflichtaufgabe. Entsprechend besteht für die Kommunen eine Verpflichtung, die Einrichtungen zur Versorgung mit Trinkwasser aufzubauen und zu unterhalten<sup>2</sup>. Zunehmend wird es als erforderlich angesehen, dass die Kommunen über ein Konzept verfügen, das aufzeigt, wie auch zukünftig eine hochwertige Versorgung mit Wasser aus zunächst lokalen und evtl. auch (über)regionalen Quellen gesichert werden kann. Um nach Möglichkeit die Wasserbereitstellung im Einzugsgebiet der Gemeinde zu sichern, sollte die Grundwasserneubildung unterstützt werden (z. B. durch Vermeidung weiterer Versiegelung und evtl. Rücknahme von Versiegelung sowie Versickerungsmaßnahmen). Soweit für die Wasserversorgung auf Oberflächengewässer bzw. Uferfiltrat zurückgegriffen wird, sollten auch Bausteine zur Verminderung des Abwasserflusses und des Gewässerschutzes im Fokus stehen. Um umgekehrt den Verbrauch an Trinkwasser zu reduzieren sollen alternative Wasserquellen (z. B. Regenwasser oder Grauwasser) für Zwecke genutzt werden, wo keine Trinkwasserqualität notwendig ist.

### **3.2.15 Urbanes Gärtnern**

Gärtnern in der Stadt, insbesondere neue Formen wie Gemeinschaftsgärten, interkulturelle Gärten oder das Guerilla-Gärtnern, wird im Sinne der städtischen Teilhabe von Städten zunehmend als eigenständige Zielstellung verfolgt. Kennzeichnend sind beschränkte, oft nicht ursprünglich als Garten gedachte Flächen wie Baumscheiben, Brachen, Höfe oder ähnliches.

---

<sup>2</sup> Wo diese Pflichtaufgabe die Leistungsfähigkeit einer einzelnen Gemeinde übersteigt, ist die Verpflichtung in kommunaler Zusammenarbeit (z.B. mittels Zweckverbänden) zu erfüllen.

Dabei müssen die Gärtner mit den besonderen Boden- und Klimaverhältnissen der Stadt zu-rechtkommen. Urbanes Gärtnern beschreibt damit den aktuell sich verstärkenden Trend des Gärtnerns in Städten. Es umfasst nicht-kommerzielle Aktivitäten, die auch nicht auf eine groß-flächige Produktion ausgerichtet sind. Im Vordergrund stehen hier soziale Aspekte wie Natur-verbundenheit, gemeinschaftliche Aktivitäten, eigene Herstellung von Lebensmitteln und Flä-chenaufwertung (z. B. nicht genutzter Baumscheiben oder Verkehrsinseln).

### **3.2.16 Aufenthaltsqualität**

Die Aufenthaltsqualität von öffentlichen Räumen beeinflusst, wie häufig und wie lange diese genutzt werden. Orte sollen Qualitäten, Gestaltungen, Möglichkeiten, Umweltbedingungen usw. aufweisen, die diese Räume für den Aufenthalt qualifizieren. Die Sicherstellung der Aufent-haltsqualität eines Ortes trotz sich ändernder Klimabedingungen ist ein Aspekt von Klimage-rechtigkeit. In der Literatur findet sich keine einheitliche Definition von Aufenthaltsqualität; viel-mehr beruhe die Aufenthaltsqualität und ihre Bewertung sehr stark auf subjektivem Empfinden (Frerichs et al. 2017: 68). Nach Flükiger & Leuba (2015) sind Schutz, Wohlbefinden/Freude und Sinnlichkeit/Komfort die zentralen Komponenten von Aufenthaltsqualität.

## **3.3 Verbesserung des physischen Wohlbefindens**

Städte zeichnen sich im Vergleich zum Umland durch Umweltbedingungen aus, die mit beson-deren Belastungen für die menschliche Gesundheit verbunden sind: Überwärmung, hohe Kon-zentrationen von Feinstaub und anderen Luftschadstoffen und Lärm sind Belastungsfaktoren, die einzeln und vor allem in ihrem Zusammenwirken zu Stress und erheblichen gesundheitsli-chen Beeinträchtigungen führen und erhöhte Erkrankungs- und Sterblichkeitsraten, z. B. durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen, zur Folge haben können.

Im Sommer bilden häufiger auftretende, intensivere und länger andauernde Hitzewellen (IPCC 2013) vor allem für Menschen mit Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen ein wachsendes Gesundheitsrisiko. Untersuchungen in Berlin kommen beispielsweise zu dem Ergebnis, dass 4 bis 5 % aller Sterbefälle in Berlin mit Hitzebelastung zusammenhängen (Scherer et al. 2013). Die Wirkung solcher Hitzewellen wird in den Städten durch die Ausdehnung städtischer Wär-meinseln aufgrund hoher Versiegelung und verringerter Frischluftzufuhr verschärft. Die Belas-tungen werden durch den Klimawandel weiter verstärkt. Besonders Ältere, Kranke und Klein-kinder sind von thermisch bedingten Krankheitsbelastungen betroffen.

Die Verringerung solcher umweltbedingten Stressfaktoren und Gesundheitsbelastungen stellt besondere Anforderungen an die Stadtplanung. Eine wichtige Rolle spielen dabei bspw. Bau-steine, die zur Kühlung der Umgebung beitragen oder Feinstäuben in der Luft reduzieren.

### 3.4 Nutzung von Wasser aus unterschiedlichen Medien

Die Ressource Wasser kommt in mehreren Bereichen der natürlichen und anthropogenen Umwelt vor. Entsprechend ihrer Nutzung und ihres Vorkommens können fünf Typen von (Wasser-) Ressourcen (hier: Medien) ausgemacht werden: Trinkwasser, Abwasser, Klarwasser, Betriebswasser und Gewässer (siehe auch Tab. 2). Je nach Herkunft des Wassers aus dem das jeweilige Medium gespeist wird, ergeben sich weitere Medientypen wie z. B. Betriebswasser aus einem Abwasser(teil)strom oder aus Regenwasser.

Die Nutzung von Wasser aus unterschiedlichen Ressourcen ergibt sich aus drei Gründen:

- a) Der Ressourcenbedarf (im Fokus steht hier Trinkwasser) soll möglichst reduziert werden, idealerweise durch Mehrfachnutzung des bereits in der Stadt befindlichen Wassers.
- b) Längere und häufigere Trockenzeiten können zu Wassermangel führen, was eine Diversifizierung der Wasserbezugsquellen empfiehlt, um eine Entlastung der ohnehin stark beanspruchten Grundwasserressourcen und eine Stärkung der Klimaresilienz der Infrastrukturen, insbesondere auch der Grünen, in diesen Trockenperioden sicherzustellen.
- c) Die Zunahme an Starkregenereignissen erfordert einen anderen Umgang mit diesen und Stärkung des dezentralen Regenwassermanagements, u.a. durch Nutzung der Ressource Regenwasser.

Tab. 2: Definitionen Wassermedien

| Übergeordnetes Wassermedium | Herkunft                               | Definition  |
|-----------------------------|--|---|
| Trinkwasser                 |  | Trinkwasser erfüllt die Qualitätsanforderungen der Trinkwasserverordnung und soll kühl, appetitlich, genussanregend und geschmacklos sein; es dient v.a. häuslichen Zwecken, z. B. zum Waschen, Trinken, zur Nahrungsmittelzubereitung und weiteren Funktionen der Grundversorgung.   |
| Abwasser                    |  | Abwasser ist nach dem Wasserhaushaltsgesetz das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte Wasser. Es beinhaltet das bei Trockenwetter abfließende Schmutzwasser sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließende Niederschlagswasser.   |
|                             | Mischwasser                            | Niederschlagswasser, das nicht getrennt (wie in der Trennkanalisation), sondern vermischt mit häuslichen Abwässern abgeleitet wird  |
|                             | Schmutzwasser                          | Durch den Gebrauch verändertes und in ein Kanalisationssystem eingeleitetes Wasser  |
|                             | Schwarzwasser                          | Fäkalien mit Spülwasser bzw. Mischung aus Urin, Fäzes und Spülwasser  |
|                             | Grauwasser                             | Abwasserstrom aus dem häuslichen Bereich ohne Fäkalien, teilweise unterschieden in stark (Küchenbereich, Waschmaschine) und schwach (Badewanne, Dusche, Handwaschbecken etc.) belastet  |
|                             | Niederschlagswasser                    | Das durch Niederschläge (Regen, Schnee, Hagel usw.) anfallende, von bebauten oder befestigten Flächen abfließende Wasser, im wesentlichen Regenwasser (= Regenwasserabfluss). Der Verschmutzungsgrad hängt wesentlich von der Beschaffenheit und der Nutzung der befestigten Flächen ab.  |
| Klarwasser                  | aus Gesamtabwasser/<br>Schwarzwasser   | In Kläranlagen gereinigtes Abwasser, das wieder in ein Gewässer eingeleitet werden kann (gemäß der geltenden Einleitungswerte für Kläranlagen). Klarwasser könnte zukünftig auch zur Bewässerung von Grün, Landschaft und Landwirtschaft dienen.  |
| Betriebswasser              | aus Grauwasser/<br>Niederschlagswasser | Wasser für häusliche, gewerbliche, landwirtschaftliche und gleichwertige Einsatzbereiche, welches keine Trinkwasserqualität haben muss. Für häusliche Einsatzbereiche erfüllt es in der Regel zumindest die Anforderungen der EU-Badegewässerrichtlinie.  |
| Gewässer                    | Grundwasser                            | Grundwasser bezeichnet Wasser aus unterirdischen Gewässern (Grundwasserleiter). Grundwasser ist das Wasser im Untergrund. Diese unsichtbare Ressource ist ein wesentliches Element des Wasserkreislaufs und erfüllt wichtige ökologische Funktionen. Zudem ist es die wichtigste Trinkwasserressource. Das Grundwasser muss vor Verunreinigungen geschützt werden. Die konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips ist dabei von großer Bedeutung. |
|                             | Oberflächenwasser                      | Oberflächenwasser bezeichnet Wasser aus oberirdischen Gewässern. Eine Entnahme ist in der Regel genehmigungspflichtig.  |

In der weiteren Bearbeitung der Bausteine wurde ein besonderer Fokus auf die Medien Niederschlagswasser, Grauwasser und Betriebswasser aus Niederschlagswasser und Grauwasser gesetzt; Trinkwasser wurde berücksichtigt aber spielte eine untergeordnete Rolle. Weitere Ausführungen zu Medienabhängigkeit und deren Bewertung siehe Kap.6.4.

### 3.5 Bausteine zur Kopplung von Infrastrukturen

Ziel der vorliegenden Forschung ist es, einen Katalog mit Bausteinen der Wasserinfrastruktur zusammenzustellen, die als Kopplungen von grüner, grauer und blauer Infrastruktur zum Einsatz kommen können. Zu Beginn der Recherche stand die Klärung der gemeinsamen Ausgangsbasis/Verständnis im Vordergrund der Arbeiten, über Fragen wie „Was verstehen wir unter grüner, grauer und blauer Infrastruktur?“ oder „Welche Effekte bzgl. des Klimawandels müssen Bausteine beinhalten, damit sie gelistet werden?“.

*Grüne, graue und blaue Infrastruktur* - Im Sinne einer intuitiv verständlichen Einteilung für Stakeholder im Planungsprozess erfolgt die Zuordnung von Bausteinen zu Infrastrukturtypen (grün, grau, blau) anhand der Sichtbarkeit der Bausteine. Manche Bausteine können sowohl zweien als auch allen drei Typen von Infrastrukturen angehören (Tab. 3).

Eine Matrix für die Systematisierung der Bausteine bzgl. der Infrastrukturtypen (grün/grau/blau), zeigt Tab. 3. Dabei wurden existierende Einzelmaßnahmen der Wasserinfrastruktur im urbanen Raum in Bausteinen zusammengefasst. So zählen Rigolen, Rohrrigolen und Sickerschächte als Einzelmaßnahmen im Baustein ‚Versickerung unterirdisch‘ (vgl. Tabelle 3). Diese Bausteine können mehrere Einzelmaßnahmen enthalten, sollen aber, wie der Name sagt, als Baustein in einem Planungs-Baukasten funktionieren.

**Tab. 3: Zuordnung der Bausteine zum Infrastrukturtyp grün, grau, blau**

| Baustein                                     | Einzelmaßnahmen   | Infrastrukturtyp |      |      |
|--|---|------------------|------|------|
|  |   | grün             | grau | blau |
| Dachbegrünung                                | Extensive Dachbegrünung<br>Intensive Dachbegrünung  | x                |      |      |
| Fassaden-/Wandbegrünung                      | biobasierte Fassadenkühlung<br>Fassadenbegrünung (erdgebunden)<br>Fassadenbegrünung (systemgebunden)      | x                |      |      |
| Innenraumbegrünung                           | Pflanzenwände<br>Pflanzeninseln/Raumteiler  | x                |      |      |
| nicht-gebäudebezogene<br>Bauwerkbegrünung    | Gleisbettbegrünung<br>Begrünung von Schallschutzwänden<br>Freistehende grüne Wände und Räume              | x                |      |      |
| Grünflächen und grüne Freiräume              | Gärten, begrünte Höfe<br>urban gardening, Permakultur<br>Straßenbäume<br>Sportflächen<br>Parks, Stadtwald | x                |      |      |
| Versickerung mit Bodenpassage                | Mulden<br>Flächenversickerung<br>Mulden-Rigolen-System<br>Mulden-Rigolen-Tiefbeet<br>Baumrigolen          | x                |      |      |
| Versickerung unterirdisch                    | Rigolen<br>Rohrrigolen<br>Sickerschächte  |                  | x    |      |
| Bewässerung                                  | Oberflächenbewässerung<br>Sprühbewässerung<br>Unterflurbewässerung<br>Mikro-/Tröpfchenbewässerung         |                  | x    |      |
| Technische Gebäudekühlung                    | Kühlung von Glasflächen<br>wasserbasierte Klima/Kühlanlagen<br>technische Fassadenkühlung                 |                  | x    |      |
| Technische Reinigung von Niederschlagswasser | Reinigung am Straßenabfluss<br>Regenklärbecken<br>Schrägläranlagen  |                  | x    |      |
| Technische Reinigung von Abwasser            | Membranbioreaktoren<br>Festbett-/Wirbelbetтанlage<br>Ozon-/UV-Anlagen<br>Umkehrosmose<br>Ultrafiltration  |                  | x    |      |
| Toilettenspülung                             | konventionelle Toilette<br>Vakuumtoilette<br>Trenntoilette<br>Urinale                                     |                  | x    |      |
| Kanalspülung                                 | Schwallspülung in der Kanalisation  |                  | x    |      |

| Baustein                                     | Einzelmaßnahmen   | Infrastrukturtyp      |   |   |
|--|---|-----------------------|---|---|
|  |   |                       |   |   |
| Entsiegelung/<br>Vermeidung von Versiegelung | teilversiegelte Oberflächen<br>komplette Entsiegelung                                     | x                     | x |   |
| Stauraum im Kanaleinzugsgebiet               | Regenüberlaufbecken<br>Stauraumkanal<br>Stauraumaktivierung<br>Regenrückhaltebecken (RRB) | x<br>(nur<br>bei RRB) | x |   |
| Wasserflächen                                | Teiche<br>wasserführende Gräben<br>Erhalt bestehender Kleingewässer                       | x                     |   | x |
| Wasserspiele                                 | Brunnen<br>Wasserspielplatz<br>Wasserinstallationen (Vernebelung/<br>Springbrunnen)       |                       | x | x |
| Kommerzielles Urban Farming                  | Gewächshäuser<br>Indoorfarming<br>Hydroponik<br>Aquaponik                                 | x                     | x | x |
| Multifunktionale Rückhalteräume              | urbane Flächen/Straßen/Plätze<br>Auenstrukturen<br>Uferstrukturen                         | x                     | x | x |
| Naturnahe Reinigungsverfahren                | Retentionsbodenfilter<br>Pflanzenkläranlagen  | x                     | x | x |

Im Folgenden werden die einzelnen Bausteine gekoppelter Infrastruktur vorgestellt. Dabei werden die räumlichen Skalen, auf denen die Bausteine eingesetzt werden, beschrieben. Auch wird die Abhängigkeit der Eigenschaften der Bausteine (in Kapitel 5 bewertete Indikatoren) von dem gewählten Medium (Ressource) beschrieben. So verändert sich beispielsweise das Potenzial zur Aneignbarkeit einer bewässerten Dachbegrünung, wenn Betriebswasser aus Grauwasser anstelle von Trinkwasser genutzt wird (vgl. Tabelle 2 zur Übersicht über die möglichen Medien). Die Medienabhängigkeit liefert Hinweise dazu, inwieweit sich Abweichungen im Potenzial eines Bausteins zum Erreichen planerischer Ziele und Klimaresilienz ergeben, wenn andere Medien als Niederschlagswasser oder Trinkwasser eingesetzt werden (vgl. Kap. 3.4 und 5.3).

### 3.5.1 Dachbegrünung

Der Baustein Dachbegrünung beschreibt die Begrünung von Dachflächen und (Tief-)Garagen. Hierunter ist sowohl intensive als auch extensive Dachbegrünung zu verstehen. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Gebäude‘, und ‚Quartier‘.

Medienabhängigkeit besteht für folgende Indikatoren<sup>3</sup> (siehe mögliche Medien in Tab. 3):

<sup>3</sup> ‚Indikator‘ bezieht sich hier und analog für die im Folgenden beschriebenen Bausteine auf die Eigenschaft eines Bausteins, für den in Kap. 5 ein Wirkungspotenzial ermittelt worden ist. Die vollständige Liste der bewerteten Indikatoren enthält Tabelle 4 in Kap.5.1.

| Indikator   | Beschreibung der Medienabhängigkeit  |
|---|--|
| Aneigenbarkeit                                    | Wirkungspotenzial nur bei Nutzung von Betriebswasser zur Bewässerung (intensive Begrünung). Hierbei ist die Aneigenbarkeit eingeschränkt bei Verwendung von Grauwasser; insbesondere hinsichtlich bei Nutzpflanzen/Verzehr   |
| Zugänglichkeit                                    | Wirkungspotenzial eingeschränkt bei Verwendung von Betriebswasser aus Grauwasser   |
| Reduktion Regenabfluss                            | Keine  |
| AFS <sup>4</sup> - Rückhalt im Regenwasserabfluss | Wirkungspotenzial nur für Niederschlagswasser (Direktniederschlag). Regenwasserabfluss, bzw. Betriebswasser aus Regenwasser oder Grauwasser enthält deutlich höhere Nährstoffkonzentrationen und AFS als direkter Niederschlag. Dadurch würde Dachbegrünung zu einer (größeren) Quelle von Schadstoffen werden.  |
| Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss           |  |
| Reduktion der Abflussspitze                       | Wirkungspotenzial nur bewertet für Niederschlagswasser (Direktniederschlag). Bei Bewässerung liegt das Dachsubstrat häufiger gesättigt vor und hat dadurch im Mittel eine geringere Aufnahmekapazität bei Starkniederschlägen. Wie sich das auf die Abflussspitze auswirkt ist unbekannt.  |
| $\alpha$ -Diversität Flora                        | Wirkungspotenzial nur bewertet für Niederschlagswasser (Direktniederschlag).<br>Die Biodiversität ist in der Regel deutlich höher bei nährstoffarmen Verhältnissen. Umgekehrt reduziert die extreme Trockenheit auf Gründächern die Artenzahl. Die Bewässerung mit Betriebswasser würde also einerseits durch reduzierte Trockenheit und höhere Nährstoffgehalte das Ansiedeln anderer Arten ermöglichen, andererseits würden durch die Veränderung spezialisierte Arten verdrängt. Es ist nicht bekannt, in welche Richtung die Veränderungsdynamik verlaufen wird, es muss jedoch von einer deutlichen Veränderung ausgegangen werden. |
| $\alpha$ -Diversität Fauna                        |  |
| $\beta$ -Diversität Flora                         |  |
| Habitatsvielfalt                                  |  |
| Ernte Pflanz- bzw. Erntegut                       | Wirkung wird möglich, wenn das Gründach mit lokal anfallendem Wasser bewässert wird, statt der Ableitung in die Kanalisation. Vermutlich tritt dies eher bei intensiver Dachbegrünung auf.   |

Für den Indikator Lärmreduktion konnte aufgrund mangelnder Datenlage keine Bewertung vorgenommen werden.

### 3.5.2 Fassaden-/Wandbegrünung

Die Begrünung von Gebäudefassaden und Gebäudewänden umfasst als Maßnahmen u. a. erd- und systemgebundene Fassadenbegrünungen. Bei ersterer werden die genutzten Pflanzen in das Erdreich gepflanzt und stehen damit in direktem Kontakt mit dem Boden. Bei der systemgebundenen Fassadenbegrünung dienen Gabione, horizontale Kübel, Wandmodule oder flächiges Geovlies als Pflanzraum. Darüber hinaus zählt die biobasierte Fassadenkühlung ebenfalls zu den Maßnahmen des Bausteins. Hierbei sitzt der Bewuchs z. B. in Form von Algen direkt auf der Gebäudewand auf. Anwendung findet der Baustein auf der räumlichen Skala ‚Gebäude‘.

<sup>4</sup> AFS = Abfiltrierbare Stoffe

Medienabhängigkeit besteht für folgende Indikatoren:

| Indikator                               | Beschreibung der Medienabhängigkeit  |
|---|--|
| Ikonische Wirkung                       | Keine  |
| Grad der Erlebbarkeit                   | Keine  |
| Zugänglichkeit                          | Keine  |
| Reduktion Regenabfluss                  | Der Regenabfluss wird nur bei Nutzung von Niederschlagswasser oder Betriebswasser aus Regenwasser reduziert. Kein Effekt bei anderen Medien.   |
| AFS- Rückhalt im Regenwasserabfluss     | Der Regenabfluss wird nur bei Nutzung von Niederschlagswasser oder Betriebswasser aus Regenwasser beeinflusst. Kein Effekt bei anderen Medien. |
| Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss |  |
| Reduktion der Abflussspitze             |  |
| Reduktion Abwasserabfluss               | Wird möglich, wenn die Fassadenbegrünung mit lokal anfallendem Wasser bewässert wird und dieses daher nicht in die Kanalisation geht.          |

### 3.5.3 Innenraumbegrünung

Zur Begrünung von Innenräumen in Gebäuden kommen Pflanzenwände und Pflanzeninseln/ Raumteiler zum Einsatz. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Gebäude‘ und ‚Grundstück‘.

Medienabhängigkeit: Wenn die Innenraumbegrünung mit lokal anfallendem und dafür gesammeltem Regenwasser bewässert wird, hat dies einen positiven Einfluss auf die Wirkpotenziale der Indikatoren Reduktion Regenabfluss, AFS-Rückhalt im Regenabfluss, Phosphorrückhalt, Reduktion der Abflussspitze und Reduktion Abwasserabfluss. Bei anderen Medien entsteht kein Effekt. Allerdings ist im Rahmen der Studie bei der Bewertung zur Medienabhängigkeit keine RW-Nutzung angenommen worden.

### 3.5.4 Nicht-gebäudebezogene Bauwerksbegrünung

Unter der nicht-gebäudebezogenen Bauwerksbegrünung ist die Begrünung von anderen Elementen oder Infrastrukturen in der Stadt (z. B. des Nahverkehrs) zu verstehen. Dazu zählen innovative Formen, die Grün in die Stadt bringen, insbesondere an Orten der Begegnung. Die hier untersuchten Maßnahmen umfassen: Gleisbettbegrünungen, Begrünungen von Schallschutzwänden sowie freistehende grüne Wände und Räume. Letztere beschreiben mobile Grünelemente, die in der Stadt aufgestellt werden können. Dies wird bspw. aus ästhetischen Gründen, aber auch zur Kühlung oder Luftreinigung (z. B. durch Moose) gemacht. Dazu zählen auch Hochbeete. Anwendung findet der Baustein vor allem auf der räumlichen Skala ‚Quartier‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                               | Beschreibung der Medienabhängigkeit  |
|---|--|
| Zugänglichkeit                          | Keine  |
| Reduktion Regenabfluss                  | Der Regenabfluss wird nur bei Nutzung von Niederschlagswasser oder Betriebswasser aus Regenwasser reduziert. Kein Effekt bei anderen Medien.   |
| AFS- Rückhalt im Regenwasserabfluss     | Der Regenabfluss wird nur bei Nutzung von Niederschlagswasser oder Betriebswasser aus Regenwasser beeinflusst. Kein Effekt bei anderen Medien. |
| Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss |  |
| Reduktion der Abflussspitze             |  |
| Ernte Pflanz- bzw. Erntegut             | Wirkung eingeschränkt bei Nutzung von Betriebswasser aus Grauwasser  |

### 3.5.5 Grünflächen und grüne Freiräume

Diesem Baustein werden unterschiedlichste Arten von grünen Flächen und grünen Freiräumen in der Stadt zugeordnet, die bei Bedarf auch bewässert sein können. Dazu gehören Gärten, begrünte Höfe, Sportflächen und Parks, aber auch Straßenbäume, Stadtwälder und Formen des urbanen, nicht-kommerziellen Gärtnerns (Gemeinschaftsgärten, Gärten nach Permakultur, interkulturelle Gärten, Guerilla-Gärten). Letztere sind besonders dadurch gekennzeichnet, dass sie oft auf beschränkten und ursprünglich nicht als Garten angedachten Flächen (Baumscheiben, Brachen, Höfe oder ähnliches) vorkommen. Die besonderen Boden- und Klimaverhältnisse der Stadt stellen besondere Ansprüche an die Gärtner. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘ und ‚Quartier‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                        | Beschreibung der Medienabhängigkeit  |
|----------------------------------|--|
| Aneigenbarkeit                   | Keine  |
| Zugänglichkeit                   | Keine  |
| Reduktion des Regenabflusses     | Effekt auf Regenwasserabfluss nur bei Nutzung von Niederschlag/Betriebswasser aus Regenwasser  |
| AFS-Rückhalt im Regenabfluss     |  |
| Phosphorrückhalt im Regenabfluss |  |
| Reduktion Abflussspitze          |  |
| $\alpha$ -Diversität Flora       | Bewässerung mit Medien außer Niederschlagswasser können zur Düngung (oder stofflicher Belastung) führen. Entsprechend könnte eine Wirkung des Mediums auf die Biodiversität eintreten, ist aber unbekannt. |
| $\alpha$ -Diversität Fauna       |  |
| $\beta$ -Diversität Flora        |  |
| Seltene Arten                    |  |
| Habitatsvielfalt                 |  |

### 3.5.6 Versickerung mit Bodenpassage

Bei dem Baustein wird das Niederschlagswasser von Dach-, Hof- und Verkehrsflächen über die belebte Bodenzone einer angrenzenden Fläche versickert. Der Baustein fasst natürliche Versickerungsflächen (Mulden, Flächenversickerung) und kombinierte Systeme (Mulden-Rigolen-

Systeme, Mulden-Rigolen-Tiefbeete, Baumrigolen) zusammen. Entscheidend für die Wahl zwischen den Systemen ist der Bedarf an oberirdischem und unterirdischem Retentionsraum. Dieser Bedarf ergibt sich aus der Menge des anfallenden Niederschlagswassers, der Raumverfügbarkeit und der Versickerungsfähigkeit des Bodens. Durch die Oberbodenpassage erfolgt eine Reinigung des Niederschlagswassers vor der Infiltration ins Grundwasser. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘ und ‚Quartier‘. Für Baumrigolen wurde, mit Ausnahme des Wirkungspotenzials für das Stadtklima, keine Bewertung vorgenommen.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                             | Beschreibung der Medienabhängigkeit   |
|---------------------------------------|---|
| Aneigenbarkeit                        | Wirkungspotenzial bei Niederschlagsabfluss (in der Regel Straßenabfluss). Versickerung von Betriebswasser aus Regenwasser (bei Überlauf der Zisterne) lässt analogen Effekt erwarten, da gleich bemessen  |
| Aerosole, Grobstaub-/Feinstaubbindung | Keine   |
| Reduktion des Regenabflusses          | Wirkungspotenzial bei Niederschlagsabfluss (in der Regel Straßenabfluss). Versickerung von Betriebswasser aus Regenwasser (bei Überlauf der Zisterne) lässt analogen Effekt erwarten, da gleich bemessen.   |
| AFS-Rückhalt im Regenabfluss          | Wirkungspotenzial bei Niederschlagsabfluss (in der Regel Straßenabfluss). Bei Versickerung von Betriebswasser aus Regenwasser (bei Überlauf der Zisterne) wird der Rückhalt aufgrund des saubereren Wasser niedriger sein, Gesamtwirkung aber analog. |
| Phosphorrückhalt im Regenabfluss      |   |

### 3.5.7 Versickerung unterirdisch

Bei dem Baustein wird Niederschlagswasser von Dach-, Hof- und Verkehrsflächen unterirdisch zwischengespeichert und zur Versickerung gebracht. Da die unterirdische Versickerung keine signifikante Reinigungswirkung aufweist, dürfen in der Regel nur Flächen mit geringer Verschmutzung, z. B. von Gründächern oder Dächern ohne Verwendung von unbeschichteten Metallen, angeschlossen werden. Für andere Flächen ist eine technische Vorbehandlung (Absetzschacht, Filterkartuschen etc.) vorzusehen. Rigole, Rohrrigole und Sickerschächte kommen hier zum Einsatz. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘ und ‚Quartier‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                        | Beschreibung der Medienabhängigkeit  |
|----------------------------------|--|
| Reduktion des Regenabflusses     | Wirkungspotenzial bei Niederschlagsabfluss (in der Regel Straßenabfluss). Versickerung von Betriebswasser aus Regenwasser (bei Überlauf der Zisterne) lässt analogen Effekt erwarten, da gleich bemessen.  |
| AFS-Rückhalt im Regenabfluss     | Wirkungspotenzial bei Niederschlagsabfluss (in der Regel Straßenabfluss). Bei Versickerung von Betriebswasser aus Regenwasser (bei Überlauf der Zisterne) wird der Rückhalt aufgrund des saubereren Wassers niedriger sein, Gesamtwirkung aber analog. |
| Phosphorrückhalt im Regenabfluss |  |

### 3.5.8 Bewässerung

Unter Bewässerung wird das Aufbringen von Wasser zur Versorgung und zum Erhalt von Grün und Erntepflanzen verstanden. Dies ist insbesondere wichtig bei Systemen, die keinen Grundwasseranschluss haben, die vom natürlichen Boden getrennt sind sowie in Phasen längerer Trockenheit. Dazu gehören Oberflächenbewässerung, Sprühbewässerung, Unterflurbewässerung und Mikro-/Tröpfchenbewässerung. Anwendung findet der Baustein auf allen räumlichen Skalen.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator  | Beschreibung der Medienabhängigkeit  |
|--|--|
| Reduktion des Regenabflusses                       | Wirkungspotenzial nur bei Bewässerung mit Betriebswasser aus Regenwasser.  |
| AFS-Rückhalt im Regenabfluss                       |  |
| Phosphorrückhalt im Regenabfluss                   |  |
| Reduktion Abflussspitze                            |  |
| Änderung der Zinkkonzentration bei Versickerung    | Belastung hängt von Inhaltsstoffen des Mediums ab.   |
| Änderung der Chloridkonzentration bei Versickerung |  |
| Ernte Pflanz- bzw. Erntegut                        | Wirkungspotenzial medienunabhängig, Nutzung des Ernteguts allerdings bei Verwendung von Betriebswasser aus Grauwasser eingeschränkt. |
| Reduktion Abwasserabfluss                          | Trifft nur bei Medium Abwasser zu.   |
| Wasserbereitstellung                               | Je nach Medium sind andere Zwecke der Bereitstellung möglich.  |

### 3.5.9 Technische Gebäudekühlung

Der Baustein Technische Gebäudekühlung beschreibt die Nutzung von Wasser zur Kühlung von Gebäuden. Als Maßnahmen fallen hierunter: Kühlung von Glasflächen, wasserbasierte Klima- und Kühlanlagen (insbesondere adiabate Systeme) sowie technische Fassadenkühlung. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Gebäude‘ und ‚Grundstück‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                        | Beschreibung der Medienabhängigkeit                 |
|----------------------------------|---|
| Reduktion des Regenabflusses     | Kein Effekt   |
| AFS-Rückhalt im Regenabfluss     |   |
| Phosphorrückhalt im Regenabfluss |   |
| Reduktion Abflussspitze          |   |
| Reduktion Abwasserabfluss        | Wirkungspotenzial für alle Medien außer Trinkwasser |

### 3.5.10 Technische Reinigung von Niederschlagswasser

Dieser Baustein umfasst insbesondere die Reinigung von Abläufen von Straßen- und Gehwegflächen durch dezentrale Filter am Straßenablauf oder zentral angeordnete Becken (z. B. klassische Regenklärbecken). Die Reinigung erfolgt in der Regel durch Sedimentation, teilweise auch durch Filtration. Ziel ist in erster Linie der Schutz von Gewässern vor hohen partikelgebundenen Stofffrachten. Entsprechend kommen diese Maßnahmen nur in Kanaltrennsystemen zum Einsatz. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘, ‚Quartier‘ und ‚Kanaleinzugsgebiet‘.

Das Wirkungspotenzial des Bausteins ist insgesamt medienabhängig für das Medium Niederschlagswasser. Andere Medien kommen nicht zur Anwendung.

### 3.5.11 Technische Reinigung von Abwasser

Die Technische Reinigung von Abwasser umfasst die Behandlung und Aufbereitung von Abwasser(teil)strömen auf dezentraler und semizentraler Ebene. Häufiger Grund ist die direkte Nutzung des behandelten Abwassers im Haushalt, zur Bewässerung oder für sonstige Zwecke, die den Betrieb der anderen Bausteine garantieren. Eingesetzt werden Membranbioreaktoren, Festbett-/Wirbelbetтанlagen, Ozon-/UV-Anlagen, Umkehrosmose- und Ultrafiltrationsanlagen. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Gebäude‘, ‚Grundstück‘, und ‚Quartier‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                 | Beschreibung der Medienabhängigkeit                          |
|---------------------------|--|
| Reduktion Abwasserabfluss | Trifft nur für das Medium Abwasser zu                        |
| Wasserbereitstellung      | Je nach Medium sind andere Zwecke der Bereitstellung möglich |

### 3.5.12 Toilettenspülung

Die Toilettenspülung betrachtet den Abtransport von Fäkalien und Urin mittels Spülwasser. Der Baustein beinhaltet nicht die sichere Vorhaltung von ausreichenden Wassermengen z. B. Speicher außer bei Nutzung von Niederschlagswasser bzw. Betriebswasser aus Niederschlagswasser. Da kein direkter Kontakt mit dem Menschen besteht, muss das Spülwasser keine Trink-

wasserqualität haben, teilweise (z. B. in Berlin) wird aber Badegewässerqualität vorausgesetzt. Anwendung findet der Baustein auf der räumlichen Skala ‚Gebäude‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                        | Beschreibung der Medienabhängigkeit                                      |
|----------------------------------|--|
| Reduktion des Regenabflusses     | Regenabfluss nur bei Medium "Betriebswasser aus Regenwasser" beeinflusst |
| AFS-Rückhalt im Regenabfluss     |  |
| Phosphorrückhalt im Regenabfluss |  |
| Reduktion Abflussspitze          |  |

### 3.5.13 Kanalspülung

Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Quartier‘ und ‚Kanaleinzugsgebiet‘. Der Baustein besteht aus dezentralen Speicherbehältern, die Wasser für eine Kanalspülung vorhalten. Das Ziel ist die Beseitigung von Ablagerungen im Kanal (z. B. an besonders flachen Kanalstellen bei langen Trockenperioden) mittels Schwallspülung zur Vermeidung von Geruchsbelastungen und Korrosion in den Kanälen. Für die Nutzung ist die Wasserqualität unerheblich, d. h. viele Wasserquellen sind direkt einsetzbar.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                        | Beschreibung der Medienabhängigkeit                                      |
|----------------------------------|--|
| Reduktion des Regenabflusses     | Regenabfluss nur bei Medium "Betriebswasser aus Regenwasser" beeinflusst |
| AFS-Rückhalt im Regenabfluss     |  |
| Phosphorrückhalt im Regenabfluss |  |
| Reduktion Abflussspitze          |  |

### 3.5.14 Entsiegelung/Vermeidung von Versiegelung

Dieser Baustein umfasst in erster Linie teilversiegelte Oberflächenbefestigungen als Ersatz für vollversiegelte Flächen (z. B. Asphalt) im Straßen- und Wegebau. Ziel ist die Verringerung der Flächenversiegelung und des Niederschlagsabflusses. Durch die alternativen Beläge (z. B. wassergebundene Deckschichten, Sickerpflaster, Fugenpflaster oder Rasengittersteine) kann die natürliche Bodenfunktion zumindest partiell wiederhergestellt werden. Diese Maßnahmen können auch Grün beinhalten, wie z. B. im Falle von Rasengittersteinen. Neben teilversiegelten Oberflächen, wird diesem Baustein auch die komplette Entsiegelung von versiegelten Flächen wie z. B. Straßen oder Parkplätzen zugeordnet. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘, ‚Quartier‘ und ‚Stadt‘. Der Baustein wird nur für das Medium Niederschlagswasser betrachtet, sodass hier eine durchgehende Abhängigkeit von diesem Medium gegeben ist.

### 3.5.15 Stauraum im Kanaleinzugsgebiet

Der Baustein Stauraum im Kanaleinzugsgebiet umfasst solche Rückhalteräume, die zur Zwischenspeicherung des Mischwasserabflusses in der Mischkanalisation geschaffen werden. Dazu zählen Regenüberlaufbecken, Stauraumkanäle oder vorübergehend durch Einstau des Kanals aktivierte Stauräume. Ziel ist eine Verringerung der Entlastungsrate und -häufigkeit sowie die Ermöglichung einer Behandlung auf der Kläranlage nach Ende des Niederschlagsereignisses. Zur Vergleichmäßigung des Regenabflusses bei intensiven Niederschlägen können zudem (im Trenn- und im Mischsystem) Regenrückhaltebecken angelegt werden. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Quartier‘ und ‚Kanaleinzugsgebiet‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                  | Anmerkung  |
|----------------------------|--|
| Grad der Erlebbarkeit      | Wirkung nur bei Rückhaltung von Niederschlagswasser relevant   |
| Umweltpädagogische Nutzung | Begehung nur möglich, wenn Becken leer   |
| Wasserbereitstellung       | Das gesammelte Wasser kann wieder genutzt werden. Da normalerweise Misch- und Regenwasser gestaut wird, können diese beiden Medien wieder zur Verfügung gestellt werden. |

### 3.5.16 Wasserflächen

Wasserflächen sind künstlich geschaffene Wasserkörper wie z. B. angestaute Teiche, künstlich angelegte Seen, wasserführende Gräben oder Rinnsale. Der Erhalt bestehender Kleingewässer ist ebenfalls Bestandteil des Bausteins, nicht jedoch große gegebene Wasserflächen (d. h. Seen und Fließgewässer im Sinne der WRRL sind nicht enthalten). Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘, ‚Quartier‘ und ‚Einzugsgebiet‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                                     | Anmerkung  |
|---|--|
| Zahlungsbereitschaft/Wertsteigerung Immobilie | Wirkungsgleich bei Verwendung von Oberflächenwasser und Abwasser aus Niederschlagswasser. Lediglich bei Verwendung von Betriebswasser aus Grauwasser wird das Potenzial möglicherweise eingeschränkt.      |
| Ikonische Wirkung                             |  |
| Grad der Erlebbarkeit                         |  |
| Aneigenbarkeit                                | Keine  |
| Zugänglichkeit                                | Keine  |
| Reduktion Regenabfluss                        | Bei Medien ohne Regenwasserbezug besteht kein Effekt auf Regenwasserabfluss  |
| AFS Rückhalt im Regenabfluss                  | Nur bewertet für Niederschlagswasser (direkt oder Betriebswasser). Absoluter Rückhalt bei Grauwasser wahrscheinlich höher, dann auch höhere Gesamtbelastung  |
| Phosphor-Rückhalt im Regenabfluss             |  |
| Reduktion der Abflussspitze                   | Nur bei Niederschlagswasser (direkt oder Betriebswasser)   |
| $\alpha$ -Diversität Flora                    | Ein mit Grauwasser gespeistes künstliches Gewässer wäre hypertroph mit entsprechenden Einschränkungen auf die Biodiversität. Es sei denn das Wasser wird aufwendig vorgereinigt (Zielwert ca. 0,02 mg-P/l) |
| $\alpha$ -Diversität Fauna                    |  |
| $\beta$ -Diversität Flora                     |  |
| Habitatsvielfalt                              |  |
| Ernte Pflanz- bzw. Erntegut                   | Produktion von Erntegut medienunabhängig; Verzehr von Fisch bei Einspeisung von Grauwasser ggf. mit Risiken verbunden  |

### 3.5.17 Wasserspiele

Zu den Wasserspielen zählen diejenigen Elemente, die einen spielerischen Umgang mit Wasser ermöglichen bzw. zur Ästhetik genutzt werden. Das Wasser ist dabei in Bewegung. Typische Erscheinungsformen sind Brunnen, Wasserspielplätze und Wasserinstallationen wie Vernebelung und Springbrunnen. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘ und ‚Quartier‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                    | Anmerkung   |
|------------------------------|---|
| Aneigenbarkeit               | Bei Nutzung von Betriebswasser aus Grauwasser ist Zugänglichkeit nur in Aneigenbarkeit eingeschränkt.                             |
| Zugänglichkeit               | Bei Nutzung von Betriebswasser aus Grauwasser ist Zugänglichkeit nur in Kombination mit Warnhinweisen (kein Trinkwasser) möglich. |
| Reduktion des Regenabflusses | Nur bei Betriebswasser aus Regenwasser.   |

### 3.5.18 Kommerzielles Urban Farming

Urban Farming meint den kommerziellen Anbau von Nahrungsmitteln und anderen landwirtschaftlichen Produkten in der Stadt. Das Spektrum reicht von der Imkerei bis zur Gemüseproduktion. Urban Farming ist ein Aspekt von Urban Agriculture, also städtischer Landwirtschaft. Dabei werden hier ausschließlich Intensivanbau und innovative, urbane Systeme betrachtet, die zunehmend neben die traditionelle Landwirtschaft treten und kommerziell betrieben werden.

Hierunter fallen Gewächshäuser, hydroponische und aquaponische Systeme sowie Systeme des Indoorfarmings. Im Einzelnen bedeutet dies, dass die landwirtschaftliche Produktion in Gewächshäusern unter Glas stattfindet. Beim Indoorfarming erfolgt die landwirtschaftliche Produktion in Gebäuden mit künstlicher Beleuchtung oder Tageslicht. Hydroponik ist eine Form der landwirtschaftlichen Produktion, mit bodenlosem Anbau und Heranzucht der Pflanzen in Nährlösung. Aquaponische Systeme sind eine Kombination aus Hydroponik und Fischzucht. Alle drei sind in der Bewertung als eingebaute Maßnahmen zu verstehen, da dies die weit üblichere Form kommerziellen urban farmings ist.. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Gebäude‘, ‚Grundstück‘ und ‚Quartier‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator  | Anmerkung  |
|--|--|
| Aneigenbarkeit                                     | Verwendung von Grau/Schwarzwasser erfordert sorgfältige Hygienemaßnahmen um Zugänglichkeit zu gewährleisten, dann ist die Wirkung medienunabhängig |
| Zugänglichkeit                                     |  |
| Reduktion Regenabfluss                             | Wenn das Regenwasser gesammelt und im Baustein zur Bewässerung eingesetzt wird.  |
| AFS-Rückhalt im Regenabfluss                       |  |
| Phosphor-Rückhalt im Regenabfluss                  |  |
| Reduktion der Abflussspitze                        |  |
| Änderung der Zinkkonzentration bei Versickerung    | Belastung hängt von Inhaltsstoffen des Mediums ab  |
| Änderung der Chloridkonzentration bei Versickerung |  |
| Ernte Pflanz- bzw. Erntegut                        | Bewertung für Verwendung von Trink- oder Niederschlagswasser   |
| Reduktion Abwasserabfluss                          |  |

### 3.5.19 Multifunktionale Rückhalteräume

Multifunktionale Rückhalteräume sind Räume in der Stadt, die explizit für eine mehrfache Nutzung konzipiert sind. Beispiele hierfür sind urbane Flächen, Straßen und Plätze, Auen- und Uferstrukturen. Ihr primärer Zweck dient der multifunktionalen Nutzung, wobei sich eine davon besonders auf die Sammlung und Zurückhaltung von Wasser im Falle von Starkregen oder Überflutung bezieht. Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘, ‚Quartier‘ und ‚Einzugsgebiet‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                         | Anmerkung  |
|-----------------------------------|--|
| Grad der Erlebbarkeit             | Positive Wirkung nur bei Abwasser aus Niederschlagswasser. Bei Vermischung zu Mischwasser (durch Übertritt aus Mischwasserkanalisation bei Starkregenereignissen) entsteht eine negative Wirkung durch Geruchsbelastung. |
| Reduktion Regenabfluss            | Grundsätzlich medienunabhängig, jedoch werden multifunktionale Rückhalteräume grundsätzlich für Starkregen- oder Überflutungsereignisse gebaut.  |
| AFS Rückhalt im Regenabfluss      | Keine  |
| Phosphor-Rückhalt im Regenabfluss |  |
| Reduktion der Abflussspitze       |  |

Allgemeine Anmerkung: Grundsätzlich medienunabhängig, jedoch werden multifunktionale Rückhalteräume für seltene Starkregen- oder Überflutungsereignisse gebaut. Zudem kann über Mischwasserüberläufe auch Mischwasser (mit einem Anteil an ungereinigtem Schmutzwasser) dazukommen.

### 3.5.20 Naturnahe Reinigungsverfahren

Unter dem Baustein Naturnahe Reinigungsverfahren wird die Reinigung von Niederschlagswasser, Grau-/Schmutzwasser bzw. von Mischwasserüberlauf mittels naturnaher Verfahren verstanden. Dazu gehören Retentionsbodenfilter und Pflanzenkläranlagen. Deren Reinigungsverfahren beruhen auf verschiedenen Schritten: dem biologischen Abbau der Wasserinhaltsstoffe im Substrat, der Nährstoffbindung und dem Nährstoffabbau durch Pflanzen sowie auf Adsorptionseffekten von Substrat und Pflanzen(-wurzeln). Anwendung findet der Baustein auf den räumlichen Skalen ‚Grundstück‘, ‚Quartier‘ und ‚Kanaleinzugsgebiet‘.

Medienabhängigkeit besteht für die Indikatoren:

| Indikator                         | Anmerkung   |
|-----------------------------------|---|
| Zugänglichkeit                    | Keine   |
| Reduktion Regenabfluss            | Regenabfluss nur bei Medium Niederschlagswasser beeinflusst |
| AFS Rückhalt im Regenabfluss      |   |
| Phosphor-Rückhalt im Regenabfluss |   |
| Reduktion der Abflussspitze       |   |
| Wasserbereitstellung              | Grund: vom Medium kann der Verwendungszweck abhängig sein   |

## 4 Leitfaden zur Identifikation, Zuordnung und Bewertung der Bausteine

Der folgende Leitfaden bietet eine handliche und schnelle Übersicht zur Übersetzung der Forschungsergebnisse in die praktische Anwendung. Grundlage ist Tab. 4: Wirkungspotenziale der Bausteine hinsichtlich der planerischen Ziele, vgl. Kap. 5.1. Die dort ausgewiesenen Potenziale sollen insbesondere die vielseitigen Wirkungspotenziale der betrachteten grünen, grauen und blauen Bausteine aufzeigen. Stadtplanerische Konzepte/Prozesse können dadurch um Bausteine, planerische Ziele oder Medien erweitert oder bezüglich der angestrebten Zielstellungen geprüft werden. Zudem erlaubt die vorliegende Arbeit auch eine Vorauswahl von Bausteinen anhand lokaler Ziele.

Die im Folgenden beschriebenen Schritte zeigen exemplarisch ein mögliches Vorgehen zur Nutzung der in Kap. 5 präsentierten Ergebnisse, um die Wirkungspotenziale in einem Planungsprozess (hier: Auswahl geeigneter Bausteine) gezielt zu berücksichtigen. Weitere Vorgehensweisen sind möglich und richten sich nach dem Stadium im Planungsprozess sowie der Zielsetzung<sup>5</sup>, für die die Bausteine näher betrachtet werden sollen. Das hier vorgeschlagene Vorgehen zur Auswahl der Bausteine anhand wissenschaftlicher Bewertungen kann und soll indes die Einschätzung von Fachplanern unter Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten nicht ersetzen, sondern hierfür vor allem eine Unterstützung bieten.

### Erster Schritt: Identifikation potenziell relevanter Bausteine

a) Identifizierung der gewünschten planerischen Ziele in Spalte 1 „Planerische Ziele“:

Beispiel: Verbesserung Stadtklima/Reduktion der Hitzebelastung

Hinweis: In Kap. 3.2 finden sich die detaillierten Beschreibungen der planerischen Ziele.

b) Herausfiltern der Bausteine

Zunächst werden Bausteine ausgewählt, für die das Wirkungspotenzial bezüglich der in 1 a) identifizierten Ziele hoch (hoher positiver Effekt, entspricht einer Bewertung mit 2) ist. Dies erfolgt entlang der identifizierten Zeilen über alle Bausteine hinweg. Da manchen Zielen mehrere Indikatoren zugeordnet sind, sollten für alle Indikatoren die entsprechenden Werte der Bausteine herausgesucht werden.

Beispiel: Für das oben genannte Ziel, die Potenziale für die Indikatoren „Änderung Hitze-stress“ und „Änderung Tropennächte“ heraussuchen. Dabei können die Indikatoren je nach

---

<sup>5</sup> Dabei ist u.a. zu beachten, dass die Zielfindung einen eigenen Prozess erfordern kann. Zudem sollte die Zielfrage im Planungsprozess immer wieder geöffnet werden, um die Zielstellung gegebenenfalls erweitern/anpassen zu können. Dieses und weitere Erkenntnisse aus dem netWORKS4-Forschungsverbund zur Planung und Umsetzung gekoppelter Infrastruktur in Städten werden in kommenden netWORKS-Papers, z.B. Nenz et al. (im Erscheinen), ausführlich dargestellt.

Priorisierung (Anpassung an Hitzestress am Tag oder in der Nacht) unterschiedlich gewichtet werden.

c) Listung der relevanten Bausteine

Das Ergebnis des ersten Schrittes ist eine Auswahl an Bausteinen mit den höchsten Potenzialen zur Unterstützung der gewählten planerischen Ziele.

**Zweiter Schritt: Bewertung der Bausteine nach örtlichen Gegebenheiten**

a) Prüfung der ausgewählten Bausteine auf Aspekte zur Realisierbarkeit vor Ort

Sowohl die räumlichen Skalen (Grundstück, Quartier, ...) eines Bausteins als auch der ihm zugeordnete Koordinationsaufwand (Stand des Wissens, Planung und Umsetzung, Betrieb) beeinflussen, inwiefern ein ausgewählter Baustein mit den Rahmenbedingungen vor Ort realisiert werden kann. Die Hinweise zur räumlichen Skala finden sich in Kap. 3.5. Einschätzungen zum Stand des Wissens und zum Koordinationsaufwand von Planung, Umsetzung und Betrieb der einzelnen Bausteine, auch unter Berücksichtigung der möglichen Medienverwendung, finden sich in der Tabelle 7, Kap. 5.3. Anhand dieser Hinweise kann die bisherige Auswahl der Bausteine bzgl. ihrer lokalen Realisierbarkeit gefiltert und geordnet werden.

b) Prüfung auf Medienabhängigkeit

Je nach planerischem Ziel liegen für die Bausteine unterschiedliche Medienabhängigkeiten vor. Es kann also sein, dass Einschränkungen hinsichtlich der Nutzung von Betriebswasser aus Grauwasser für den Baustein bestehen.

Beispiel 1: Für das planerische Ziel „Verbesserung Stadtklima/Reduktion Hitzebelastung“ liegt größtenteils eine Medienunabhängigkeit vor. Lediglich für die Bausteine „Entsiegelung/Vermeidung von Versiegelung“ und „Versickerung mit Bodenpassage“ besteht eine Medienabhängigkeit, da hier nur ein Medium (Niederschlagswasser bzw. Betriebswasser aus Niederschlagswasser) zur Anwendung kommt.

Beispiel 2: Für das planerische Ziel „Begegnung“ bestehen je nach Baustein sowohl Medienabhängigkeiten als auch -unabhängigkeiten. Abhängigkeiten bestehen meist dort, wo die Qualität des Wassers Einfluss auf das gesundheitliche Wohlbefinden des Menschen nehmen kann.

Die entsprechenden Hinweise auf Medienabhängigkeit der einzelnen Bausteine finden sich in Kap. 3.5.

c) Ggf. Wiederholung von Schritt 1

Für den Fall, dass die Bewertung ergibt, dass gewählte Bausteine aus bestimmten Gründen nur bedingt oder nicht für das planerische Ziel eingesetzt werden können, können Schritte 1 b) und folgende unter Berücksichtigung von Bausteinen, für die die Wirkungspotenziale zur Erreichung der angestrebten Ziele mit geringem positiven Effekt (1) angegeben sind, wiederholt werden.

d) Reduzierte Listung besonders geeigneter Bausteine

Das Ergebnis des zweiten Schrittes ist die Auswahl von Bausteinen, die den planerischen Zielen entsprechen und nach einer ersten Prüfung zur Umsetzung geeignet erscheinen.

Mittels des vorgeschlagenen Vorgehens ist es möglich, einen Planungsprozess mit einer fokussierten Liste von Bausteinen zu unterstützen. Dabei ist es aber wichtig zu berücksichtigen, dass in Tabelle 4 das nach gegenwärtigem Stand des Wissens maximale Potenzial jedes Bausteins ausgewiesen wird. Entsprechend muss im Anschluss an eine erste Grobplanung eine Feinplanung erfolgen, um (i) geeignete Einzelmaßnahmen innerhalb der Bausteine auszuwählen und (ii) die Einzelmaßnahmen so auszugestalten, dass das Potenzial bezüglich der prioritären Ziele auch ausgeschöpft werden kann. In Einzelfällen ist auch eine höhere Potenzialausschöpfung durch besondere Ausgestaltung einer Maßnahme möglich, wenn diese hier als Sonderfall nicht berücksichtigt worden ist oder sie Funktionen erhält, die hier im Rahmen eines anderen Bausteins bewertet sind. Ein Beispiel hierfür ist die Fassadenbegrünung mit Spalierobst, die hier sowohl als Maßnahme des Bausteins ‚Fassaden- und Wandbegrünung‘, als auch zu ‚Grün- und Freiflächen‘ zählen würde.

## 5 Wirkungspotenziale der Bausteine

### 5.1 Übersicht über die Potenziale der Bausteine zur Erreichung planerischer Ziele

Eine Übersicht über die Wirkungspotenziale der Bausteine hinsichtlich der planerischen Ziele stellt Tabelle 4 dar. Jedes planerische Ziel wird über verschiedene Indikatoren bewertet, wobei Bausteine für die unterschiedlichen Indikatoren eines Ziels unterschiedlich gut abschneiden können. Die Bewertung selbst zeigt das maximale Potenzial eines Bausteins, welches durch die am besten geeignete Einzelmaßnahme innerhalb eines Bausteins bei optimaler Umsetzung erreicht werden kann. Die zugrundeliegenden Bewertungsgrundlagen und das methodische Vorgehen werden in Kap. 6.1 und 6.2 erläutert.

Tab. 4: Wirkungspotenziale der Bausteine hinsichtlich der planerischen Ziele

| Planerische Ziele                                     | Indikatoren  | Dachbegrünung | Fassaden-/Wandbegrünung | Innenraumbegrünung | Nicht gebäudebezogene Bauwerksbegrünung | Grünflächen & grüne Freiräume | Versickerung mit Bodenpassage |
|---|--|---------------|-------------------------|--------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Infrastrukturtyp                                      |  | ●             | ●                       | ●                  | ●                                       | ●                             | ●                             |
| 1. Soziokulturelle Ökosystemleistungen                |  |               |                         |                    |   |                               |                               |
| Identifikation  | Zahlungsbereitschaft/<br>Wertsteigerung<br>Immobilie   | 2             | 2                       | 2                  | 1                                       | 2                             | x                             |
|   | Ikonische Wirkung                                      | 2             | 1                       | 2                  | 1                                       | 2                             | 0                             |
| Erlebbarkeit  | [Grad der] Erlebbarkeit                                | 2             | 2                       | 2                  | 1                                       | 2                             | 1                             |
|   | Aneignbarkeit  | 1             | 0                       | 0                  | 0                                       | 2                             | 1                             |
| Begegnung   | Zugänglichkeit   | 2             | 1                       | 1                  | 2                                       | 2                             | 0                             |
| Umweltbildung   | Umweltpädagogische Nutzung                             | 1             | 1                       | 1                  | 0                                       | 2                             | 1                             |
| 2. Regulative Ökosystemleistungen                     |  |               |                         |                    |   |                               |                               |
| Luftreinhaltung                                       | Aerosole,<br>Grobstaub-/<br>Feinstaubbindung           | 2             | 1                       | 2                  | 1                                       | 2                             | 1                             |
| Lärmschutz  | Lärmreduktion  | 2             | 1                       | 1                  | 2                                       | 1                             | 0                             |
| Verbesserung Stadtklima/<br>reduzierte Hitzebelastung | Änderung Tropennächte [d/a]                            | 2             | 2                       | 0                  | 2                                       | 2                             | 2                             |
|   | Änderung Hitzebelastung [h/a]                          | 2             | 2                       | 0                  | 2                                       | 2                             | 2                             |
| Natürlicher Wasserhaushalt                            | Verdunstungsanteil [%]                                 | 2             | 2                       | 0                  | 2                                       | 2                             | 2                             |
|   | Reduktion des Regenabflusses [%]                       | 2             | 2                       | 0                  | 2                                       | 2                             | 2                             |
|   | Änderung des Versickerungsanteils [%]                  | 0             | 0                       | 0                  | 0                                       | 2                             | 2                             |
| Gewässerschutz  | AFS-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]         | 1             | 1                       | 0                  | 1                                       | 2                             | 2                             |
|   | Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]    | 1             | 2                       | 0                  | 2                                       | 2                             | 2                             |
|   | Reduktion der Abflussspitze [%]                        | 2             | 1                       | 0                  | 1                                       | 2                             | 2                             |
| Grundwasserschutz                                     | Änderung der Zinkkonzentration bei Versickerung [%]    | 0             | 0                       | 0                  | 0                                       | 0                             | -1                            |
|   | Änderung der Chloridkonzentration bei Versickerung [%] | 0             | 0                       | 0                  | 0                                       | 0                             | -1                            |
| 3. Basale Ökosystemleistungen                         |  |               |                         |                    |   |                               |                               |
| Erhaltung, Förderung, Verbesserung                    | α-Diversität (Flora) [-]                               | 2             | 2                       | 0                  | 2                                       | 2                             | 2                             |

|  |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|
| rung der biologischen Vielfalt/<br>Biodiversität         | $\alpha$ -Diversität (Fauna) [-]        | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 |
|  | $\beta$ -Diversität (Flora) [-]         | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 |
|  | Seltene Arten                           | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
|  | Habitatsvielfalt                        | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 |
|  | Gründistanz [in m]                      | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| <b>4. Versorgende Ökosystemleistungen</b>                |   |   |   |   |   |   |   |
| Sicherstellung der Nahrungsmittel- und NaWaRo-Produktion | Ernte Pflanz- bzw. Erntegut [kg/(ha·a)] | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Sicherstellung der Wasserversorgung                      | Reduktion Abwasserabfluss [%]           | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
|  | Wasserbereitstellung                    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | Sauerstoffproduktion [kg/(ha·a)]        | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Urbanes Gärtnern   | Aneigenbarkeit                          | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 |
|  | Umweltpädagogische Nutzung              | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 |
|  | Ernte Pflanz- bzw. Erntegut [kg/(ha·a)] | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Aufenthaltsqualität                                      | [Grad der] Erlebbarkeit                 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
|  | Aneigenbarkeit                          | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
|  | Zugänglichkeit                          | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 |

- 2 hoher positiver Effekt  
 1 geringer positiver Effekt  
 0 kein Effekt  
 -1 negativer Effekt  
 x Effekt vorhanden, nicht genau bestimmbar  
 NA not available (nicht vorhanden)

| Planerische Ziele                                 | Indikatoren  | Versickerung unterirdisch | Bewässerung | Technische Gebäudekühlung | Technische Reinigung von Niederschlagswasser | Technische Reinigung von Abwasser | Toiletenspülung | Kanalspülung |
|---|--|---------------------------|-------------|---------------------------|--|-----------------------------------|-----------------|--------------|
| Infrastrukturtyp                                  |  | ●                         | ●           | ●                         | ●  | ●                                 | ●               | ●            |
| 1. Soziokulturelle Ökosystemleistungen            |  |                           |             |                           |  |                                   |                 |              |
| Identifikation                                    | Zahlungsbereitschaft/<br>Wertsteigerung Immobilie      | 0                         | 0           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 1            |
|   | Ikonische Wirkung                                      | 0                         | 1           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
| Erlebbarkeit                                      | [Grad der] Erlebbarkeit                                | 0                         | 0           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
|   | Aneigenbarkeit   | 0                         | 1           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
| Begegnung   | Zugänglichkeit   | 0                         | x           | 1                         | 0  | 0                                 | 2               | 0            |
| Umweltbildung                                     | Umweltpädagogische Nutzung                             | 0                         | 0           | 0                         | 1  | 1                                 | 0               | 0            |
| 2. Regulative Ökosystemleistungen                 |  |                           |             |                           |  |                                   |                 |              |
| Luftreinhaltung                                   | Aerosole, Grobstaub-/<br>Feinstaubbindung              | 0                         | 0           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
| Lärmschutz  | Lärmreduktion  | 0                         | x           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
| Verbesserung Stadtklima/reduzierte Hitzebelastung | Änderung Tropennächte [d/a]                            | 0                         | 2           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
|   | Änderung Hitze-stress (UTCI) [h/a]                     | 0                         | 2           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
| Natürlicher Wasserhaushalt                        | Verdunstungsanteil [%]                                 | 0                         | 2           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
|   | Reduktion des Regenabflusses [%]                       | 2                         | 2           | 2                         | 0  | 0                                 | 0               | 2            |
|   | Änderung des Versickerungsanteils [%]                  | 2                         | 2           | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
| Gewässerschutz                                    | AFS-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]         | 2                         | 1           | 1                         | 2  | 0                                 | 1               | 1            |
|   | Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]    | 2                         | 2           | 2                         | 2  | 0                                 | 2               | 2            |
|   | Reduktion der Abflussspitze [%]                        | 2                         | 1           | 1                         | 0  | 0                                 | 1               | 1            |
| Grundwasserschutz                                 | Änderung der Zinkkonzentration bei Versickerung [%]    | -1                        | -1          | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
|   | Änderung der Chloridkonzentration bei Versickerung [%] | -1                        | -1          | 0                         | 0  | 0                                 | 0               | 0            |
| 3. Basale Ökosystemleistungen                     |  |                           |             |                           |  |                                   |                 |              |

|   |  |   |   |   |   |   |   |   |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|
| Erhaltung,<br>Förderung,<br>Verbesserung<br>der Biologischen<br>Vielfalt/Bio-<br>diversität | α-Diversität<br>(Flora) [-]                | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|   | α-Diversität<br>(Fauna) [-]                | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|   | β-Diversität<br>(Flora) [-]                | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|   | Seltene Arten                              | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|   | Habitatsvielfalt                           | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|   | Gründistanz [in m]                         | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>4. Versorgende Ökosystemleistungen</b>   |  |   |   |   |   |   |   |   |
| Sicherstellung der<br>Nahrungsmittel-<br>und NaWaRo-<br>Produktion                          | Ernte Pflanz- bzw.<br>Erntegut [kg/(ha·a)] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sicherstellung der<br>Wasserversor-<br>gung   | Reduktion Abwas-<br>serabfluss [%]         | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 |
|   | Wasserbereit-<br>stellung                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
|   | Sauerstoffproduk-<br>tion [kg/(ha·a)]      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Urbanes Gärtnern  | Aneigenbarkeit                             | 0 | x | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
|   | Umweltpädago-<br>gische Nutzung            | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
|   | Ernte Pflanz- bzw.<br>Erntegut [kg/(ha·a)] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aufenthaltsquali-<br>tät  | [Grad der] Erleb-<br>barkeit               | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|   | Aneigenbarkeit                             | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|   | Zugänglichkeit                             | 0 | x | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |

2 hoher positiver Effekt

1 geringer positiver Effekt

0 kein Effekt

-1 negativer Effekt

x Effekt vorhanden, nicht genau bestimmbar

NA not available (nicht vorhanden)

| Planerische Ziele                                 | Indikatoren  | Entsiegelung/Vermeidung von Versiegelung | Stauraum im Kanaleinzugsgebiet | Wasserflächen | Wasserspiele | Kommerzielles Urban Farming | Multi-funktionale Rückhalteräume | Naturnahe Reinigungsverfahren |
|---|--|--|--------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Infrastrukturtyp                                  |  | ●●                                       | ●●                             | ●●            | ●●           | ●●●                         | ●●●                              | ●●●                           |
| 1. Soziokulturelle Ökosystemleistungen            |  |  |                                |               |              |                             |                                  |                               |
| Identifikation                                    | Zahlungsbereitschaft/Wertsteigerung Immobilie          | 0  | x                              | 2             | 1            | x                           | 0                                | 1                             |
|   | Ikonische Wirkung                                      | 1  | 1                              | 2             | 2            | x                           | 1                                | 1                             |
| Erlebbarkeit                                      | [Grad der] Erlebbarkeit                                | 0  | 1                              | 2             | 2            | 1                           | 2                                | 1                             |
|   | Aneigenbarkeit   | 1  | 0                              | 2             | 2            | 2                           | 2                                | 0                             |
| Begegnung   | Zugänglichkeit   | x  | 0                              | 2             | 2            | 0                           | 2                                | 1                             |
| Umweltbildung                                     | Umweltpädagogische Nutzung                             | 0  | 1                              | 1             | 2            | 1                           | 1                                | 1                             |
| 2. Regulative Ökosystemleistungen                 |  |  |                                |               |              |                             |                                  |                               |
| Luftreinhaltung                                   | Aerosole, Grobstaub-/Feinstaubbindung                  | 0  | 0                              | 2             | 1            | 1                           | 1                                | 1                             |
| Lärmschutz  | Lärmreduktion  | x  | 0                              | 0             | 0            | 0                           | 1                                | 0                             |
| Verbesserung Stadtklima/reduzierte Hitzebelastung | Änderung Tropennächte [d/a]                            | 2  | 0                              | -1            | 0            | -1                          | 2                                | 2                             |
|   | Änderung Hitze-stress (UTCI) [h/a]                     | 2  | 0                              | 2             | 2            | 0                           | 2                                | 2                             |
| Natürlicher Wasserhaushalt                        | Verdunstungsanteil [%]                                 | 2  | 0                              | 2             | 2            | 0                           | 2                                | 1                             |
|   | Reduktion des Regenabflusses [%]                       | 2  | 0                              | 2             | 1            | 2                           | 2                                | 1                             |
|   | Änderung des Versickerungsanteils [%]                  | 2  | 0                              | 0             | 0            | 0                           | NA                               | 0                             |
| Gewässer-schutz                                   | AFS-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]         | 1  | 0                              | 2             | 0            | 1                           | NA                               | 2                             |
|   | Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]    | 2  | 0                              | 2             | 0            | 0                           | NA                               | 2                             |
|   | Reduktion der Abflussspitze [%]                        | 1  | 2                              | 2             | 0            | 1                           | 2                                | 2                             |
| Grundwasser-schutz                                | Änderung der Zinkkonzentration bei Versickerung [%]    | -1                                       | 0                              | 0             | 0            | -1                          | 0                                | 0                             |
|   | Änderung der Chloridkonzentration bei Versickerung [%] | -1                                       | 0                              | 0             | 0            | -1                          | 0                                | 0                             |
| 3. Basale Ökosystemleistungen                     |  |  |                                |               |              |                             |                                  |                               |
| Erhaltung, Förderung, Verbesserung                | α-Diversität (Flora) [-]                               | 1  | 0                              | 2             | 0            | 0                           | 2                                | 0                             |
|   | α-Diversität (Fauna)                                   | 1  | 0                              | 2             | 0            | 0                           | 2                                | 0                             |

|  |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--|---|---|---|---|---|---|---|----|
| der Biologischen Vielfalt/Biodiversität                  | [-]                                     |   |   |   |   |   |   |    |
|  | β-Diversität (Flora) [-]                | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0  |
|  | Seltene Arten                           | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0  |
|  | Habitatsvielfalt                        | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0  |
|  | Gründistanz [in m]                      | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | NA |
| <b>4. Versorgende Ökosystemleistungen</b>                |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Sicherstellung der Nahrungsmittel- und NaWaRo-Produktion | Ernte Pflanz- bzw. Erntegut [kg/(ha·a)] | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1  |
|  | Reduktion Abwasserabfluss [%]           | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2  |
| Sicherstellung der Wasserversorgung                      | Wasserbereitstellung                    | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2  |
|  | Sauerstoffproduktion [kg/(ha·a)]        | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0  |
| Urbanes Gärtnern   | Aneigenbarkeit                          | x | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1  |
|  | Umweltpädagogische Nutzung              | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1  |
|  | Ernte Pflanz- bzw. Erntegut [kg/(ha·a)] | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1  |
| Aufenthaltsqualität                                      | [Grad der] Erlebarkeit                  | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1  |
|  | Aneigenbarkeit                          | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0  |
|  | Zugänglichkeit                          | x | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1  |

2 hoher positiver Effekt  
 1 geringer positiver Effekt  
 0 kein Effekt  
 -1 negativer Effekt  
 x Effekt vorhanden, nicht genau bestimmbar  
 NA not available (nicht vorhanden)

## 5.2 Wirkungspotenziale zur Anpassung an den Klimawandel

Eine Übersicht über die Wirkungspotenziale der Bausteine hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel findet sich in Tab. 5. Dabei wird für jeden Baustein beurteilt, ob er die fünf betrachteten Klimafolgen (vgl. Tabelle 1) abschwächt (x), verstärkt (x (negativ)) oder kein Effekt erwartet wird (-). Die Bewertungsgrundlagen und das methodische Vorgehen hinsichtlich der Zuordnung der ausgewählten Indikatoren zur Abschwächung der Klimafolgen sowie deren Definition werden in Kap. 6.2 erläutert. Dort finden sich auch Hinweise zur Potenzialabschätzung.

Tab. 5: Wirkungspotenziale der Bausteine hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel

| Baustein                                       | Abschwächung Klimafolge                |  |                                     |  |  |
|--|--|--|-------------------------------------|--|--|
|  | Häufiger Starkregen: Gewässerbelastung | Häufigere extreme Regeneignisse: Überflutung | Höhere Temperaturen: Hitzebelastung | Höhere Temperaturen: Steigende Anzahl trop. Nächte | Längere Trockenperioden: Wasserknappheit |
| Dachbegrünung ●                                | x                                      | x  | x                                   | x  | -  |
| Fassaden-/Wandbegrünung ●                      | x                                      | x  | x                                   | x  | -  |
| Innenraumbegrünung ●                           | -                                      | -  | -                                   | -  | -  |
| Nicht gebäudebezogene Bauwerksbegrünung ●      | x                                      | x  | x                                   | x  | -  |
| Grünflächen & grüne Freiräume ●                | x                                      | x  | x                                   | x  | x  |
| Versickerung mit Bodenpassage ●                | x                                      | x  | x                                   | x  | -  |
| Versickerung unterirdisch ●                    | x                                      | x  | -                                   | -  | -  |
| Bewässerung ●                                  | x                                      | x  | -                                   | -  | x  |
| Technische Gebäudekühlung ●                    | x                                      | x  | -                                   | -  | -  |
| Technische Reinigung von Niederschlagswasser ● | -                                      | -  | -                                   | -  | x  |
| Technische Reinigung von Abwasser ●            | -                                      | -  | -                                   | -  | x  |
| Toilettenspülung ●                             | x                                      | x  | -                                   | -  | -  |
| Kanalspülung ●                                 | x                                      | x  | -                                   | -  | -  |
| Entsiegelung/Vermeidung von Versiegelung ●●    | x                                      | x  | x                                   | x  | -  |
| Stauraum im Kanaleinzugsgebiet ●●              | x                                      | x  | -                                   | -  | x  |
| Wasserflächen ●●                               | x                                      | x  | x                                   | x (negativ)  | x  |
| Wasserspiele ●●●                               | -                                      | -  | x                                   | -  | -  |
| Kommerzielles Urban Farming ●●●                | x                                      | x  | -                                   | x (negativ)  | x  |
| Multifunktionale Rückhalteräume ●●●            | x                                      | x  | x                                   | x  | x  |
| Naturnahe Reinigungsverfahren ●●●              | x                                      | x  | x                                   | x  | x  |

x mindernder Effekt  
 - kein Effekt  
 x (negativ) verstärkender Effekt

### 5.3 Wirkungspotenziale zur Verbesserung des physischen Wohlbefindens

Grüne, graue und blaue Bausteine können zur Verbesserung des physischen Wohlbefindens beitragen und sind damit ein wichtiges Element für die gesundheitsförderliche Stadtentwicklung. Auswirkungen des Klimawandels tragen zur thermisch bedingten Krankheitsbelastung bei – besonders Ältere, Kranke und Kleinkinder sind hiervon betroffen. Tabelle 6 fasst die Art der Reduktion gesundheitlicher Belastung (Wirkung ja oder nein) je Baustein zusammen. Dabei wurden nur Wirkungen im Straßenraum berücksichtigt, Wirkungen im Gebäude (z. B. durch technische Gebäudekühlung) sind hier nicht mit betrachtet (vgl. auch Kap. 6.2.2). Die Reduktion der in Tabelle 6 aufgeführten gesundheitlichen Belastungen sind neben der Abwesenheit von Hitzestress und Schadstoffen wichtige Bestandteile der Verbesserung physischen Wohlbefindens. Letztere sind über die Indikatoren ‚Reduktion Hitzestress‘, ‚Änderung tropische Nächte‘ und ‚Aerosol-, Grob- und Feinstaubbindung‘ erfasst (Tabelle 4).

Die Literaturlauswertung (zur verwendeten Literatur und Auswertungsmethodik siehe Kap. 6.2.2) zeigt, dass Verbesserungen des physischen Wohlbefindens durch Ökosystemleistungen vor allem bei grünen und blauen Bausteinen zu erwarten sind, weshalb deren Effekte in den folgenden Unterkapiteln 5.3.1 und 5.3.2 näher erläutert werden. Die hier auch betrachteten grauen Bausteine haben keine nachgewiesene direkte Wirkung auf die Verbesserung des physischen Wohlbefindens im Quartier.

Tab. 6: Art der gesundheitsförderlichen Wirkung je Baustein

| Bau-<br>stein                                     | Art der gesundheits-<br>förderlichen Wirkung | Reduktion von mit<br>Stress verbundenen<br>Krankheiten  | Reduktion von Atem-<br>wegserkrankungen | Reduziertes<br>Allergiefrequenzen | Luftreinhaltung | Lärmschutz | Verbesserung<br>Stadtklima/reduzierte<br>Hitzebelastung |
|---|--|---|---|-----------------------------------|-----------------|------------|---|
| Dachbegrünung                                     |  | x   | x                                       | x                                 | x               | x          | x   |
| Fassaden-/Wandbegrünung                           |  | x   | x                                       | x                                 | x               | x          | x   |
| Innenraumbegrünung                                |  | x   | x                                       | -                                 | x               | x          | -   |
| nicht-gebäudebezogene Bauwerks-<br>begrünung      |  | x   | x                                       | x                                 | x               | x          | x   |
| Grünflächen und grüne Freiräume                   |  | x   | x                                       | x                                 | x               | x          | x   |
| Versickerung mit Bodenpassage                     |  | x   | x<br>(gering)                           | x                                 | x               | -          | x   |
| Versickerung unterirdisch                         |  | -   | -                                       | -                                 | -               | -          | -   |
| Bewässerung                                       |  | x<br>(v.a. in<br>Trocken-<br>perioden)                  | x<br>(v.a. in<br>Trocken-<br>perioden)  | -                                 | -               | -          | x   |
| Technische Gebäudekühlung                         |  | -   | -                                       | -                                 | -               | -          | -   |
| Technische Reinigung von Abwasser                 |  | -   | -                                       | -                                 | -               | -          | -   |
| Technische Reinigung von Nieder-<br>schlagswasser |  | -   | -                                       | -                                 | -               | -          | -   |
| Toilettenspülung                                  |  | -   | -                                       | -                                 | -               | -          | -   |
| Kanalspülung                                      |  | -   | -                                       | -                                 | -               | -          | -   |
| Entsiegelung/Vermeidung von Versie-<br>gelung     |  | x<br>(bei Hitze-<br>ereignissen<br>an Tag und<br>Nacht) | -                                       | x<br>(gering)                     | -               | -          | x   |
| Stauraum im Kanaleinzugsgebiet                    |  | -   | -                                       | -                                 | -               | -          | -   |
| Wasserflächen                                     |  | x   | x                                       | x                                 | x               | -          | x<br>(möglich)  |
| Wasserspiele                                      |  | x   | -                                       | x                                 | x               | -          | x<br>(möglich)  |
| Kommerzielles Urban Farming                       |  | x<br>(gering)   | x<br>(gering)                           | -                                 | x               | -          | -   |
| Multifunktionale Rückhalteräume                   |  | x   | x                                       | x                                 | x               | x          | x   |
| Naturnahe Reinigungsverfahren                     |  | x<br>(möglich)  | x<br>(möglich)                          | -                                 | x               | -          | x   |

x Effekt  
 - kein Effekt  
 x (möglich) Effekt möglich aber nicht nachweislich wahrscheinlich

### 5.3.1 Grüne Bausteine

Gesundheitsförderliche Effekte von Grünflächen sind messbar z. B. über erniedrigte Blutdruck- und Stresshormonspiegel bei Spaziergängern/durch sonstige physische Aktivität in naturnaher Umgebung. Als 'Raum mit Aufforderungscharakter' (Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016) dient die ästhetisch positiv wahrgenommene Stadtnatur als Anreiz für Bewegung und damit im Zusammenhang stehenden gesundheitlichen Effekten. Eine strukturelle Diversität der Vegetation trägt zur Stressreduktion bei und hat positive gesundheitliche Effekte (Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Erkrankungen des Verdauungssystem und psychische Erkrankungen); ihre visuelle Erlebbarkeit ist dafür ausreichend (ebd.). Die optische Wahrnehmung von Pflanzen kann eine positive Wirkung auf das physische Wohlbefinden in Form von Schmerz- und Stressreduktion haben (Grinde/Patil 2009). Wenn die Verteilung und Qualität von Grün als positiv wahrgenommen wird, kann die Zufriedenheit mit der örtlichen Umgebung steigen. Diese wiederum kann Bewegung fördern und somit gesundheitsförderliche Effekte haben (Jong et al. 2012). Ebenso kann Reduktion von Lärm durch grüne Bausteine dazu beitragen, das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016) und das subjektive Stressempfinden (Honold et al. 2012) zu verringern. Naturerfahrung kann darüber hinaus die Naturentfremdung entgegenwirken und die Persönlichkeitsentwicklung, die motorische Entwicklung und die Konzentrationsfähigkeit fördern ('biopsychosoziale Perspektive'). Die Reduktion von Hitzestress und die Bindung von Aerosolen, Grob- und Feinstaub kann ebenfalls Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen verringern (Hartig et al. 2014; Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016) sowie das subjektive psychische und physische Wohlbefinden (Honold et al. 2012) fördern.

Van Dillen et al. (2012) haben aufgezeigt, dass physisches Wohlbefinden sowohl mit der Quantität als auch mit der Qualität von Grünflächen zusammenhängt. Zur 'Qualität' zählt dabei neben der ästhetischen Wahrnehmung (Gestaltung, Sauberkeit) auch die Zugänglichkeit (Sicherheit). Der gesundheitliche Nutzen eines Bausteins hängt daher von der Zugänglichkeit des Bausteins sowie von den Sicherheitsbedürfnissen und der Mobilität der Nutzer\*innen ab. Entsprechend ist der Nutzen für Bevölkerungsgruppen unterschiedlich (Cameron et al. 2012; Hartig et al. 2014; Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016; Nowak 2004; Ward Thompson/Aspinall 2011).

### 5.3.2 Blaue Bausteine

Die gesundheitsförderlichen Effekte, die durch sozio-kulturelle Ökosystemleistungen blauer Bausteine bewirkt werden, wirken ähnlich wie die für die grünen Bausteine beschriebenen Effekte (BGMR Landschaftsarchitekten 2013; Böhm et al. 2016; Luttik 2000; Matzinger et al. 2016). Auch für die Effekte, die die Bindung von Aerosolen, Grob- und Feinstaub (Indikator für die regulative Ökosystemleistung Luftqualitätsregulation) auf die menschliche Gesundheit haben, ist die Wirkungsrichtung bei blauen Bausteinen vergleichbar mit der grüner Bausteine. Anders verhält es sich mit Folgeeffekten der Klimaregulation: Wasserflächen haben eine neutrale oder negative Wirkung auf die Verringerung der nächtlichen Wärmebelastung, da Gewäs-

ser Wärme speichern und dadurch die nächtliche Abkühlung behindern; negativ sind diese in der Regel vor allem bei kleineren Wasserflächen (Burkart et al. 2016; Sun/Chen 2012). Der Kühleffekt von Wasserflächen geht vor allem auf Evaporation und den Austausch sensibler Wärme zurück (Burkart et al. 2016). Ob dies zu einer Verbesserung des physischen Wohlbefindens durch Verringerung von Hitzestress führt, ist von weiteren klimatischen Bedingungen (insbesondere Luftfeuchte und Luftströme) abhängig (Coutts et al. 2012).

Über die hier beschriebenen direkten Wirkungen hinaus können Bausteine indirekt Wirkungen auf das physische Wohlbefinden haben, die hier aber nicht näher bewertet werden (siehe dazu Tabelle 9 in Kap. 6.2).

Die beschriebenen Wirkungen von Bausteinen auf das physische Wohlbefinden sind dann abhängig von der verwendeten Wasserressource (Medium), wenn der Baustein zugänglich bzw. aneigenbar ist oder Erntegut bereitstellt. Hier wird die Wirkung auf das physische Wohlbefinden durch direkte Nutzung des Grüns/des Wassers erhöht. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass evtl. erforderliche Einschränkungen in der Nutzung bei Verwendung von Betriebswasser aus Abwasser ebenfalls zu Einschränkungen der Wirkung auf das physische Wohlbefinden führen (siehe auch Tabelle 13 in Kap. 6.2.2).

#### 5.4 Koordinationsaufwand

Häufig ist die Einführung von Neuerungen, wie durch die hier vorgestellten Bausteine, damit verbunden, dass diese den an Planung, Umsetzung und Instandhaltung beteiligten Akteuren (noch) nicht vertraut sind und zudem Absprachen zwischen verschiedenen Akteuren, Organisationen oder Institutionen erfordern sowie zusätzliche Genehmigungen usw. eingeholt werden müssen. Ein zu hoher (oder für sehr hoch gehaltener) Aufwand bei entsprechenden Abstimmungen und Koordinierungen kann die Verfolgung der Neuerung einschränken oder sogar verhindern. Hinsichtlich der Bewertung dieses Koordinationsaufwandes wurde zwischen dem Stand des Wissens, dem Koordinationsaufwand in Planung und Umsetzung und dem Koordinationsaufwand im Betrieb unterschieden. In der Bewertung wurden darüber hinaus Medienabhängigkeiten berücksichtigt (siehe Tabelle 7). Den Koordinationsaufwand der einzelnen Bausteine zeigt Tabelle 7. Die Definition und Bewertungsskalen der Indikatoren sind in Kapitel 6.2.1 erläutert. Wichtig ist dabei, dass hier ausschließlich der Aufwand der Koordination, nicht aber der Aufwand der Umsetzung oder des Betriebes selbst bewertet wurde.

Die Tabelle liest sich für den jeweiligen Baustein von links nach rechts und gibt zunächst Auskunft darüber, ob eine Medienabhängigkeit der drei Indikatoren für den jeweiligen Baustein vorliegt. Die Bewertungen der Indikatoren werden meist mit einer entsprechenden Anmerkung (a-f) ergänzt.

**Tab. 7: Koordinationsaufwand Stand des Wissens, Planung und Umsetzung, Betrieb unter Berücksichtigung ihrer Medienabhängigkeit**

| Baustein                                      |    | Indikator      |      |                   |  |   |                              |   |   |
|---|----|----------------|------|-------------------|--|---|------------------------------|---|---|
|   |    | Medienabhängig |      | Stand des Wissens | Koordinationsaufwand Planung und Umsetzung |   | Koordinationsaufwand Betrieb |   |   |
|   |    | ja             | nein |                   |  |   |                              |   |   |
| Dachbegrünung                                 | ●  | x              |      | sehr gut          | a  | mittel  | b                            | sehr gering   | b |
| Fassaden-/Wandbegrünung                       | ●  | x              |      | sehr gut          | a  | eher gering   | b                            | mittel  | b |
| Innenraum-begrünung                           | ●  | x              |      | mittel            | a  | eher gering   | b                            | eher gering   | b |
| Nicht gebäude-bez. Bauwerksbe-grünung         | ●  | x              |      | sehr gut          | a  | sehr gering   | b                            | gering  | b |
| Grünflächen & grüne Freiräume                 | ●  | x              |      | sehr gut          | a  | mittel  | b                            | gering  | b |
| Versickerung mit Bodenpassage                 | ●  |                | x    | sehr gut          |  | sehr gering   |                              | eher gering   |   |
| Versickerung unterirdisch                     | ●  |                | x    | sehr gut          |  | sehr gering   |                              | sehr gering   |   |
| Bewässerung                                   | ●  | x              |      | sehr gut          | c  | eher gering   | d                            | gering  | d |
| Technische Gebäudekühlung                     | ●  | x              |      | sehr gut          | a  | mittel  | b                            | mittel  | b |
| Technische Reinigung von Niederschlags-wasser | ●  | x              |      | sehr gut          | f  | sehr gering   | f                            | sehr gering   | f |
| Technische Reinigung von Abwasser             | ●  |                | x    | sehr gut          |  | gering, auf Quartiers- und Einzugsgebietsebene unsicher |                              | gering, auf Quartiers- und Einzugsgebietsebene unsicher |   |
| Toiletenspülung                               | ●  |                | x    | sehr gut          |  | eher hoch/unsicher                                      |                              | eher unsi-cher  |   |
| Kanalspülung                                  | ●  |                | x    | gut               |  | sehr gering   |                              | sehr gering   |   |
| Entsiegelung/Vermeidung von Versiegelung      | ●● | x              |      | sehr gut          | f  | eher gering   | f                            | gering  | f |
| Staurauml im Kanaleinzugsge-biet              | ●● |                | x    | sehr gut          |  | eher gering   |                              | sehr gering   |   |
| Wasserflächen                                 | ●● | x              |      | sehr gut          | e  | eher gering, bei wasser-führenden Gräben mittel         | e                            | eher gering, bei wasser-führenden Gräben mittel         | e |
| Wasserspiele                                  | ●● | x              |      | sehr gut          | e  | sehr gering   | e                            | gering  | e |

| Baustein  | Indikator      |      |                   |   |                       |         |                      |   |
|---|----------------|------|-------------------|---|-----------------------|---------|----------------------|---|
|   | Medienabhängig |      | Stand des Wissens |   | Koordinationsaufwand  |         | Koordinationsaufwand |   |
|   | ja             | nein |                   |   | Planung und Umsetzung | Betrieb |                      |   |
| Kommerzielles Urban Farming      | x              |      | mittel            | c | unsicher              | d       | eher gering          | d |
| Multifunktionale Rückhalteräume  |                | x    | mittel            |   | unsicher              |         | mittel               |   |
| Naturnahe Reinigungsverfahren    |                | x    | sehr gut          |   | eher gering           |         | eher gering          |   |

- a Stand des Wissens geringer bei Verwendung von Betriebswasser aus Grauwasser
- b Koordinationsaufwand höher bei Verwendung von Betriebswasser aus Grauwasser
- c Stand des Wissens geringer bei Verwendung von Betriebswasser aus Abwasser
- d Koordinationsaufwand höher bei Verwendung von Betriebswasser aus Abwasser
- e Koordinationsaufwand steigt bei Einspeisung bzw. Nutzung von Abwasser
- f grundsätzlich: betrachteter Fall immer Niederschlagswasser, daher durchgehende Abhängigkeit von diesem Medium gegeben

## 6 Bewertungsmethodik

### 6.1 Ökosystemleistungen

Um die identifizierten Bausteine im Sinne einer nachhaltigen Stadtentwicklung verwenden zu können (vgl. auch Feinberg et al. 2015), wurde auf das Konzept der Ökosystem(dienst)leistungen zurückgegriffen. Es geht davon aus, dass die Lebensqualität und der Wohlstand der Menschen von Leistungen und Gütern der Ökosysteme abhängig sind. Zu den lebensnotwendigen Leistungen von Ökosystemen gehören zum Beispiel die Sauerstoffproduktion oder die Funktion des Bodens als Wasserfilter, den die Gesellschaft für die Trinkwasserversorgung aus Grundwasser nutzt.

Ökosystemleistungen sind ein Schlüsselkonzept an der Schnittstelle von natur- und sozialwissenschaftlicher Umweltforschung; sie beschreiben den Vorteil/Nutzen/Gewinn (benefits), welche Menschen aus Ökosystemen (be)ziehen. Dabei wird nicht zwischen natürlichen und naturfernen Ökosystemen unterschieden (Loft/Lux 2010, Grunewald/Bastian 2013)).

Beim Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005) wurden folgende vier Grundtypen von Ökosystemdienstleistungen unterschieden:

- Soziokulturelle Dienstleistungen befriedigen immaterielle Werte, die Menschen den Ökosystemen beimessen, insbesondere aufgrund von deren Möglichkeiten zur Erholung, zur psychischen/spirituellen Bereicherung, der Regeneration und des ästhetischen Genusses.
- Regulierende Dienstleistungen beschreiben Vorteile, die Menschen aus der Regulationsfähigkeit von Ökosystemen ziehen, z. B. aus Prozessen wie der Energieumwandlung, der Speicherung und dem Transfer von Mineralstoffen und Energie in Nahrungsketten, aber auch der Mineralisierung und Festlegung von Kohlenstoff in den Böden oder der Klimaregulation.

- Basale Dienstleistungen beschreiben Vorteile, die Menschen aus natürlichen Prozessen ziehen, welche der Bereitstellung aller anderen Ökosystemdienstleistungen zugrunde liegen, insbesondere Bodenbildung, Nährstoffkreislauf und Erhaltung der (genetischen) Vielfalt.
- Versorgende oder Versorgungsleistungen sind materielle Güter, die Menschen aus Ökosystemen gewinnen. In der Regel beziehen sich diese Leistungen auf erneuerbare biotische Ressourcen (vor allem Produkte aus lebenden Tieren und Pflanzen), aber auch Sauerstoff und Wasser.

Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl von jeweils zum Grundtyp gehörenden Ökosystem(dienst)leistungen:

**Tab. 8: Grundtypen und zugeordnete spezifische Ökosystem(dienst)leistungen (nach ebd.: 57, vereinfacht)**

| Grundtyp                   | Spezifische Leistung  |
|----------------------------|---|
| Soziokulturelle Leistungen | Ästhetik<br>Inspiration für Kultur, Kunst und Design<br>Spiritualität<br>Nutzung für Naherholung, Tourismus   |
| Regulierende Leistungen:   | Genutzte Luftqualität (Verringerung Feinstaub etc.)<br>Genutzte Klimapufferung/-verbesserung (CO <sub>2</sub> -Fixierung, Verdunstung etc.)<br>Abschwächung von Extremereignissen (Überflutungsschutz, Dürreprävention etc.)<br>Wasserreinigung<br>Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit |
| Basale Leistungen:         | Stoffkreisläufe, Bodenbildung   |
| Versorgende Leistungen:    | Entnommenes Wasser (Trinkwasser, Bewässerung, Kühlung etc.)<br>Ernte an Kulturpflanzen  |

Ökosysteme stellen nicht nur wichtige sondern auch vielfältige Ökosystemleistungen zu Verfügung. Diese vielfältigen Ökosystemleistungen sind auf sehr unterschiedliche Weise miteinander verknüpft. Teilweise kommt es zu sich verstärkenden oder hemmenden Wechselwirkungen. Ökosystemleistungen können damit positiv, negativ oder indifferent korreliert sein. Beispielsweise kann eine Erhöhung der Versorgungsleistungen die Regulationsleistungen beeinträchtigen, z. B. kann eine Neupflanzung nach starkem Holzeinschlag über den Bodenbruch die Speicherung im Boden herabsetzen. Derartige „Trade-offs“ sind seit langem Thema der einschlägigen Forschung. Für einige naturnahe Entwässerungssysteme, die als Bausteine im netWORKS4-Katalog berücksichtigt sind, wurden Service-Trade-offs erfasst (vgl. Mak 2015: 64ff.). Neben gesellschaftlich erwünschten Ökosystemleistungen werden dabei auch unerwünschte Ökosystemleistungen, sog. „Ecosystem Disservices“, betrachtet, also die Nachteile/Schäden, die aus der Nutzung der Ökosysteme resultieren können. Beispielsweise kann die Anlage von innerstädtischen Stillgewässern zu Mückenplagen für die Anwohner führen.

In der wissenschaftlichen Forschung zu Ökosystemleistungen wird üblicherweise zwischen den von den Menschen genutzten Leistungen (z. B. Entnahme von Grundwasser und dessen Nutzung als Trink- oder Kühlwasser) und den ihnen zugrundeliegenden natürlichen Prozessen, den sog. Ökosystemfunktionen (z. B. Grundwasserneubildung), unterschieden (vgl. Loft/Lux 2010). Diese Unterscheidung ist für die Gesamtbewertungen elementar, da mit ihrer Hilfe „Doppelzählungen“ vermieden werden können (vgl. Grunewald/Bastian 2013). Im netWORKS-Projekt wurden auf der Grundlage des Gesamtkatalogs der Ökosystemleistungen nach dem MEA hier zu betrachtende Ökosystemleistungen pragmatisch in einem transdisziplinären Prozess ausgewählt. Diesen wurden Indikatoren zugeordnet, die entweder zentrale Wirkungen der Ökosystemleistungen umfassen oder aber die jeweiligen Leistungen selbst beschreiben. Die Auswahl (Tabelle 9) ist das Ergebnis eines gemeinsamen Arbeitsprozesses von Wissenschaftler\*innen und Planer\*innen zu Beginn des Projektes, in dem die Anschlussfähigkeit der verwendeten Indikatoren an gängige Terminologien in der Planungspraxis ein wichtiges Auswahlkriterium war. Aus pragmatischen Gründen entfällt daher hier die in anderen Debatten gängige Unterscheidung zwischen Ökosystemleistung und Ökosystemfunktion (wie in vergleichbaren Untersuchungen zur Anpassung städtischer Versorgungssystemen gegen Klimafolgen, vgl. Mak 2015).

Die im Katalog versammelten Bausteine repräsentieren keineswegs ganze Ökosysteme, weisen aber jeweils doch viele ökosystemare Züge auf. Folglich können sie als fragmentierte bzw. verinselte Ökosysteme betrachtet werden. Aufgrund der Unvollständigkeit werden sie teilweise nur ausgewählte Ökosystemleistungen hervorbringen; insbesondere die basalen (unterstützenden) Leistungen werden in vielen Fällen nur teilweise erbracht bzw. nur im Mosaik mit anderen ökosystemar wirkenden Bausteinen. Da die Bausteine in „netWORKS4“ verallgemeinert gesammelt worden sind (d. h. unabhängig von ihrer örtlichen Einbettung und Implementierung), sind zudem in der Regel Aussagen über die tatsächlich gesellschaftlich in Anspruch genommenen Leistungen nicht möglich. Häufig sind auf dieser Abstraktionsebene nur Aussagen über die zugrundeliegende Funktion möglich. Dennoch beruht auf den unterstützenden Ökosystemfunktionen grundlegend die Erzeugung (zumindest) der versorgenden und regulativen Ökosystemleistungen. Da Ökosystemfunktionen das Potenzial nutzbarer Ökosystemleistungen aufzeigen, können die für sie gewählten Indikatoren vereinfachend unter Ökosystemleistung mitbehandelt werden.

In „netWORKS 4“ werden die MEA-Grundtypen in den Indikatorenkatalog (Tabelle 9) miteinbezogen. Zusätzlich wird dabei die Habitatfunktion (siehe auch TEEB 2010) berücksichtigt und bei den Indikatoren für regulierende Leistungen mitbehandelt.

## 6.2 Auswahl, Definition und Bewertung der verwendeten Indikatoren

Für die Indikatoren und ihre Definition konnte auf dem im BMBF-Projekt „Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme“ (KURAS) erarbeiteten Stand der Forschung aufgebaut werden (Matzinger et al. 2016, [www.kuras-projekt.de](http://www.kuras-projekt.de)). Dort wurden systematisch Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung untersucht und quantitativ bewertet. Aufbauend auf einer sehr umfangreichen Desktop-Analyse und dem unter 6.1 beschriebenen transdisziplinären Prozess wurden im Rahmen von netWORKS4 weitere Bausteine und weitere Indikatoren, insbesondere zu hier neu betrachteten Feldern wie dem gesundheitlichen Wohlergehen und den sozio-kulturellen Ökosystemleistungen, identifiziert und ergänzt.

Die zusätzliche Literaturlauswertung umfasste 268 Quellen (graue und wissenschaftliche Literatur), die mittels einer Literaturdatenbank (Citavi®) verschlagwortet und nach Textpassagen zu Bausteinen, bzw. hier analysierten Ökosystemleistungen und weiteren Kriterien durchsucht und ausgewertet wurden. Die Materialauswahl erfolgte nach Schlagwortsuche in eigenen sowie öffentlich zugänglichen Datenbanken bzw. Beständen. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden für die weitere Arbeit jene Indikatoren gemeinsam ausgewählt, die möglichst gut handhabbar waren. Per Konvention wurde sich auf Definitionen geeinigt, die im Gesamtverbund noch einmal überprüft wurden (vgl. Tabelle 9).

Tab. 9: Definitionen der bewerteten Indikatoren

| Indikator   | Definition   |
|---|--|
| <b>1. Soziokulturelle Ökosystemleistungen</b>               |  |
| Zahlungsbereitschaft/Wertsteigerung Immobilie (%)           | Durch den Baustein erhöht sich die Zahlungsbereitschaft von Menschen für Wohnraum, für den Aufenthalt vor Ort (z. B. Fahrtkosten, Konsum). Zudem erhöht sich der Wert von Immobilien durch den Baustein (seine Verbauung im Gebäude oder Gelände, seine Lage in der direkten oder entfernteren Nachbarschaft) und die Aufenthaltshäufigkeit und Verweildauer in angrenzenden Geschäften steigt, was mit gesteigertem Konsum einhergeht. Wo ein Zahlenwert angegeben ist zeigt die Einheit [%] die Steigerung der Zahlungsbereitschaft für einen bestimmten Fall an (z. B. Aufenthalt oder Immobilie) |
| Ikonische Wirkung   | Durch den Baustein erhält ein Gebäude/Quartier/Stadt ein charakteristisches und-positiv wahrgenommenes Erscheinungsbild/Image. Dazu zählt z. B. ein durch Grün- und Wasserflächen strukturiertes, für einen Ort typisches Stadtbild, ein durch den Baustein verschönertes Straßenbild, etc. (typische Fotomotive).<br>Bewertungseinheit große Wirkung/kleine Wirkung/keine Wirkung   |
| [Grad der] Erlebbarkeit                                     | Der Baustein ist sinnlich (visuell, akustisch, haptisch) erfahrbar und muss dafür nicht zugänglich sein.<br>Bewertungseinheit ist hohe positive Erlebbarkeit/mittlere positive Erlebbarkeit/keine Erlebbarkeit/negative Erlebbarkeit   |
| Zugänglichkeit  | Menschen können ungeachtet unterschiedlicher Mobilitäts- und Sicherheitsbedürfnisse den Baustein erreichen und mit ihm in Kontakt treten.<br>Bewertungseinheit ist hohe Zugänglichkeit/mittlere Zugänglichkeit/keine Zugänglichkeit  |
| Aneigenbarkeit  | Menschen können den Baustein für eigene Aktivitäten nutzen bzw. den Baustein umgestalten. Möglichkeiten sind: Gärtnern, Kinderspiele, Grillen, Picknicken, Sonnenstuhl aufstellen, Blumen pflücken;<br>Bewertungseinheit ist hoch, mittel, gering/nicht vorhanden  |
| Umweltpädagogische Nutzung                                  | Durch den Baustein erhöht sich der Erkenntnisgewinn über (sozial)ökologische Zusammenhänge und Prozesse.<br>Bewertungseinheit: umweltpädagogische Nutzung gut möglich, eingeschränkt möglich, unwahrscheinlich/unmöglich.  |
| <b>2. Regulative Ökosystemleistungen</b>                    |  |
| Aerosol-, Grobstaub-/Feinstaubbindung (g/m <sup>2</sup> /a) | Durch den Baustein erhöht sich die Filterwirkung bei der Reinigung der Luft.   |
| Lärmreduktion (dz)  | Durch den Baustein vermindert sich die Lärmemission.   |
| Änderung Tropennächte [d/a]                                 | Änderung des lokalen Humanbioklimas in der Nachtsituation als Differenz der mittleren jährlichen Anzahl von Tropennächten (T <sub>min</sub> ≥ 20°C) zwischen dem Maßnahmen- und dem Ist-Zustand. (Zur KURAS-Bewertung für Berlin: als Ist-Zustand wurden zwei typische Berliner Innenstadtquartiere betrachtet.)   |
| Änderung Hitzestress [h/a]                                  | Änderung des lokalen Humanbioklimas in der Tagsituation als Differenz des jährlichen Index UTCI (Universal Thermal Climate Index, ähnlich der gefühlten Temperatur), genauer die Anzahl an Stunden im Jahr mit einem signifikanten Hitzestress (UTCI > 32°C), zwischen dem Maßnahmen- und dem Ist-Zustand. (Zur KURAS-Bewertung für Berlin: als Ist-Zustand wurden zwei typische Berliner Innenstadtquartiere betrachtet.)   |

| Indikator  | Definition   |
|--|--|
| Verdunstungsanteils [%]                                | Verdunstungsanteil einer Maßnahme in %, bezogen auf die Gesamtzuleitung (direkter Niederschlag + Zuleitung).<br>(zur vorliegenden Bewertung in netWORKS4: Die Bewertung erfolgte mit dem Simulationstool Wabila (basierend auf der DWA A 102). Analog zum KURAS-Bewertungssystem wurde von Randbedingungen in Berlin ausgegangen (P = 571 mm, Etp = 660 mm, Kf = 100 m/h))   |
| Reduktion des Regenabflusses [%]                       | Prozentuale Reduktion des jährlichen Regenabflusses (als Teil der jährlichen Wasserbilanz) von einer versiegelten Fläche (Dach, Hof oder Straße) durch einen Baustein. Eine Reduktion ist möglich durch Verdunstung, Grundwasserneubildung oder Nutzung des Regenwassers direkt durch den Baustein. Eine verzögerte Abgabe wird hier nicht betrachtet. Bezugsgröße: direkte Reduktion im Baustein.   |
| Änderung des Versickerungsanteils [%]                  | Die Grundwasserneubildungsrate ist die Wassermenge, die in einem bestimmten Zeitraum auf einer festgelegten Fläche das Grundwasseraufkommen erreicht und es mengenmäßig ergänzt. Sie ist abhängig von der durchschnittlichen Niederschlagsmenge, der Verdunstungsrate, dem Bewuchs und den hydrogeologischen Verhältnissen des Bodens. Bausteine der Entsiegelung und Regenwasserbewirtschaftung verringern den oberirdischen Abfluss zugunsten der Verdunstung und Versickerung.<br>Aus dem Vergleich von Zu- und Abfluss zu den einzelnen Maßnahmen und aus Lysimeterversuchen kann die Sickerwasserrate unterhalb von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen gemessen oder aus meteorologischen Daten berechnet werden. |
| AFS-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]         | Rückhalt der abfiltrierbaren Stoffe (AFS) im Regenwasserabfluss pro Hektar angeschlossene versiegelte Fläche und pro Jahr durch einen Baustein aus Sicht weitergeleiteten Wassers, bzw. des Gewässers. Dieser Rückhalt kann durch eine Reduktion der Abflussmenge (z. B. bei Versickerung) oder durch eine Reinigung des abfließenden Wassers erreicht werden.<br>Abfiltrierbare Stoffe stellen eine Leitgröße für organisches Material, Schwermetalle und pathogene Keime da. Der Indikator adressiert daher mehrere Defizite.  |
| Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]    | Rückhalt des Gesamtphosphors im Regenwasserabfluss pro Hektar angeschlossene versiegelte Fläche und pro Jahr durch einen Baustein aus Sicht weitergeleiteten Wassers, bzw. des Gewässers. Dieser Rückhalt kann durch eine Reduktion der Abflussmenge (z. B. bei Versickerung) oder durch eine Reinigung des abfließenden Wassers erreicht werden.  |
| Reduktion der Abflussspitze [%]                        | Prozentuale Reduktion der Abflussspitze bei Starkregenereignissen von einer versiegelten Fläche (Dach, Hof oder Straße) durch einen Baustein. Eine Reduktion ist möglich durch eine reduzierte oder verzögerte Abgabe des Wassers. Bei der Bewertung wurden Starkregenereignisse der Größenordnung einer Jährlichkeit von 1/a betrachtet.<br>Die Abflussspitze ist neben der hydraulischen Situation im Gewässer (im Kanaltrennsystem) auch für die stoffliche Belastung durch Mischwasserüberläufe (im Kanalmischsystem) entscheidend, da die Kanalisation nur bei Überschreitung einer kritischen Abflussspende überläuft.   |
| Änderung der Zinkkonzentration bei Versickerung [%]    | Prozentualer Änderung der Zinkkonzentration bei Versickerung in einem Baustein. Dabei wird Zink als Leitparameter für Schwermetalle herangezogen, aufgrund der hohen Relevanz im Regenwasserabfluss und der breiten Literaturbasis.  |
| Änderung der Chloridkonzentration bei Versickerung [%] | Prozentualer Änderung der Chloridkonzentration bei Versickerung in einem Baustein.<br>Chlorid ist ein wichtiger Parameter der Grundwasserbelastung aus Regenwasserabfluss durch den Einsatz von Tausalzen auf Verkehrsflächen.   |
| <b>3. Basale Ökosystemleistungen</b>                   |  |
| $\alpha$ -Diversität (Flora) [-]                       | Indikator für die Punktdiversität oder den Artenreichtum der Pflanzen auf einem Baustein; bildet die durchschnittliche Artenzahl/Abundanz pro Baustein ab.   |

| Indikator                                  | Definition  |
|--|---|
| $\alpha$ -Diversität (Fauna) [-]           | Indikator für die Punktdiversität oder den Artenreichtum der Tiere auf einem Baustein; bildet die durchschnittliche Artenzahl/Abundanz pro Baustein ab.   |
| $\beta$ -Diversität (Flora) [-]            | Indikator für die Entwicklung der Artenzahl unterschiedlicher Stichproben oder Artenkomposition der Pflanzen auf einem Baustein; basiert auf einer Ähnlichkeitsanalyse. Zeigt einen niedrigen Wert, wenn ein Baustein immer dieselben Pflanzenarten enthält.  |
| Seltene Arten                              | Indikator des Potenzials eines Bausteins als (Ersatz-)Lebensraum für seltene und bedrohte Arten. Weist die durchschnittliche Zahl von Rote Liste Arten pro Baustein aus.  |
| Habitatsvielfalt                           | Indikator für Lebensraumvielfalt, die durch einen Baustein (in vielen Umsetzungen) erreicht werden kann. Wird durch die Strukturvielfalt der Vegetationsbestände als durchschnittliche Habitatsvielfalt pro Baustein erfasst, in Anlehnung an Lebensraumtypen gemäß EU FFH-Richtlinie   |
| Gründistanz [in m]                         | Indikator für die Integration in Stadtgrün. Gemessen als durchschnittliche Distanz von untersuchten Bausteinen zu anderen städtischen Grünflächen. Indikator ist für die Bewertung von Einzelmaßnahmen nur bedingt aussagekräftig, aber sehr wichtig für die Bewertung eines Quartiers/Stadteils.   |
| <b>4. Versorgende Ökosystemleistungen</b>  |   |
| Ernte Pflanz- bzw. Erntegut [kg/(ha·a)]    | Der Baustein produziert Pflanzgut wie z. B. Rasenschnitt oder Schilf. Diese Materialien können z. B. für die Biogasgewinnung oder Kompostierung weitergenutzt werden. Der Baustein kann auch Erntegut produzieren: Obst/Gemüse, Fisch, Blumen. Diese werden für den Eigengebrauch oder kommerziell genutzt.   |
| Reduktion des Abwasserabflusses [%]        | Die Kanalisation/die Ableitung wird entlastet, dadurch dass Abwasser oder Abwasserteilströme lokal gesammelt, behandelt und verwertet werden und somit lokal verbleiben. Hier wird der Niederschlag, der direkt in einem Baustein verbleibt (z. B. gefallener Niederschlag), ausgeschlossen.  |
| Wasserbereitstellung                       | Aktive Vorhaltung von Wasser und damit dessen Entnahme- und Nutzungsmöglichkeit (insbesondere für Betriebswasser) bei Erhalt relevanter Ökosystemfunktionen wie etwa einer ausreichenden Einspeisungsmenge in die Flüsse. Dadurch kann eine Substitution von Trinkwasser erfolgen.  |
| Sauerstoffproduktion [kg/(ha·a)]           | Der Indikator beschreibt den über die Primärproduktion bereitgestellten Sauerstoff.   |
| <b>5. Sonstige Charakteristika</b>         |   |
| Stand des Wissens                          | Beschreibung des vorhandenen Wissens zur Umsetzung/zum Betrieb des Bausteins. Es gibt Wissensstände, die Umsetzung und Betrieb erleichtern, weil man auf Experten zurückgreifen kann. Das ist üblicherweise erreicht, wenn ein Verfahren den Stand der Technik erreicht. Erhöhter Aufwand entsteht, wo noch kein Stand der Technik erreicht ist. Anhaltspunkte für die Bewertung sind die Verfügbarkeit von Erfahrungen bei Planern/Bauausführenden oder Baufileln, Betriebs- und Pflegeplänen, Best-Practice-Beispielen und Instrumenten. Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von 'ungenügend' bis 'sehr gut'. Dabei wird 1. Wissen allgemein und 2. Wissen für Anwendung in Deutschland betrachtet. |
| Koordinationsaufwand Planung und Umsetzung | Aufwand, der in der Abstimmung von Tätigkeiten in der Erstellung des Bausteins entsteht. Anhaltspunkte für die Bewertung sind rechtlicher Rahmen, Verfügbarkeit von Planungs- und Genehmigungsverfahren, bzw. dortige Traditionsbildung, Best-Practice-Beispielen und Instrumenten, sowie Akteurskonstellation (Anzahl, Rollenverteilung, Routinen, Kooperationsmanagement). Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von 'sehr gering' bis ('sehr hoch') 'sehr unsicher'. Der Aufwand der Planung und Umsetzung selbst wird dabei nicht bewertet.   |

| Indikator   | Definition  |
|---|---|
| Koordinationsaufwand Betrieb                      | Aufwand, der in der Abstimmung von Tätigkeiten zum Erhalt des Bausteins entsteht. Anhaltspunkte für die Bewertung sind Rechtlicher Rahmen, Verfügbarkeit von Instrumenten, sowie Akteurskonstellation (Anzahl, Rollenverteilung, Routinen). Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von 'sehr gering' bis 'sehr unsicher'/sehr hoch. Der Aufwand des Betriebs selbst wird dabei nicht bewertet. |
| Flächenbelegung [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] | Ausgewiesen wird der durchschnittliche Flächenbedarf eines Bausteins in m <sup>2</sup> pro m <sup>2</sup> angeschlossene, versiegelte Fläche. Unterirdische Maßnahmen, bzw. Maßnahmen in Gebäuden werden mit einem Flächenbedarf von 0 belegt.  |
| Räumliche Skala                                   | Beschreibung der räumlichen Skala, in der sich der Baustein befindet: Gebäude, Grundstück, Quartier, Stadt, (Kanal-)Einzugsgebiet   |
| Partnerbausteine                                  | Bausteine, mit denen der Baustein sich gut kombinieren lässt bzw. Bausteine, die andere Bausteine erst sichtbar werden lassen (z. B. ein Wasserspiel die dahinterliegende graue Infrastruktur).   |
| Verringerung der gesundheitlichen Belastung       | Reduzierung von Belastungen (Krankheiten, Allergiejaukommen, Schmerzempfinden, sowie Stress, Übergewicht,... gemessen in Morbidität, Mortalität) durch präventive und heilende Wirkungen.   |

Die Bewertung der Indikatoren erfolgte zum einen auf Grundlage von im Projekt ‚KURAS‘ erhobenen Daten zur Bewertung von Bausteinen gekoppelter Infrastruktur (ebd.), sowie auf einer umfassenden Literaturlauswertung für nicht im Rahmen von KURAS bewertete Bausteine und Indikatoren. Bewertet wurden die (maximalen) Wirkungspotenziale die ein Baustein bei optimaler Umsetzung einer geeigneten Einzelmaßnahme des Bausteins erreichen kann. Dabei wurden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Bewertung der Indikatoren für alle Einzelmaßnahmen in der Einheit des jeweiligen Indikators.
- Ableitung des Potenzials anhand der in Tabelle 10 dargestellten Bewertungsskala für alle Einzelmaßnahmen. Bei quantitativen Werten wurde deren Spanne über alle bewerteten Maßnahmen als Maß für die Übersetzung in die Potenzialskala verwendet, wobei Werte in den oberen 2/3 als 2 und im unteren 1/3 als 1 gewertet wurden
- Ableitung des Potenzials aller Bausteine aus den enthaltenen Einzelmaßnahmen. Dabei wurde jeweils das beste Potenzial einer enthaltenen Einzelmaßnahme für den Baustein übernommen.
- Lücken in der Potenzialbewertung der Bausteine wurden durch (nach Möglichkeit) fächerübergreifende Teams von Wissenschaftler\*innen (nach dem sog. Vier-Augen-Prinzip, vgl. Bergmann et al. 2010: 204, 221) gefüllt, um das Potenzial eines Bausteins zur Bereitstellung der über den Indikator indizierten Ökosystemfunktion einzuschätzen. Dabei wurden die gesammelten Datengrundlagen genutzt, um Analogien zu bewerteten Bausteinen herzustellen.

**Tab. 10: Bewertungsskala Potenzialabschätzung**

| Potenzial | Effekt Planerische Ziele                   | Effekt physisches Wohlbefinden             | Zuteilung KURAS-Bewertung (Matzinger et al. 2016) |
|-----------|--|--|---|
| 2         | hoher positiver Effekt                     | ---  | moderater und hoher positiver Effekt              |
| 1         | geringer positiver Effekt                  | positiver Effekt                           | geringer positiver Effekt                         |
| 0         | kein Effekt                                | kein Effekt                                | kein Effekt                                       |
| -1        | negativer Effekt                           | negativer Effekt                           | geringer, moderater und hoher negativer Effekt    |
| x         | Effekt vorhanden, nicht genauer bestimmbar | Effekt vorhanden, nicht genauer bestimmbar | -   |

Die Auswertung bzgl. der Potenziale der einzelnen Bausteine zur Anpassung an den Klimawandel (siehe Tab. 5 in Kap. 5.2) erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurden für jede Anpassungsmöglichkeit die relevanten Indikatoren identifiziert. Es waren in jedem Fall mehrere Indikatoren und als Analyse bot sich die Berechnung des Mittelwerts bzw. Medians an. Da jedoch die Indikatoren eine unterschiedliche Relevanz für die jeweilige Anpassungsfähigkeit hatten, wurde entschieden, in einem zweiten Schritt einen Leitindikator für jede Anpassungsmöglichkeit zu bestimmen. Die anderen Indikatoren werden zur Kontrolle und Prüfung jeweils mitgeführt. Daraus ergaben sich die in Tabelle 11 dargestellten jeweiligen Leitindikatoren plus weitere Indikatoren für die Einschätzung des Bausteins bzgl. eines Klimaanpassungspotenzials.

**Tab. 11: Zuordnung (Leit-)Indikatoren zur Anpassung an den Klimawandel**

| Klimaveränderung: Problematik                             | Betrachtete Indikatoren                             | Gewählter Leitindikator |
|---|---|-------------------------|
| Häufiger Starkregen:<br>Gewässerbelastung                 | Reduktion des Regenabflusses [%]                    |                         |
|   | AFS-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]      |                         |
|   | Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)] |                         |
|   | Reduktion der Abflussspitze [%]                     | x                       |
| Häufigere extreme<br>Regenereignisse:<br>Überflutung      | Reduktion des Regenabflusses [%]                    |                         |
|   | Reduktion der Abflussspitze [%]                     | x                       |
| Höhere Temperaturen:<br>Hitzebelastung                    | Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]                   | x                       |
|   | Änderung des Verdunstungsanteils [%]                |                         |
|   | Gründistanz [in m]                                  |                         |
| Höhere Temperaturen:<br>Steigende Anzahl tropische Nächte | Änderung Tropennächte [d/a]                         | x                       |
|   | Änderung des Verdunstungsanteils [%]                |                         |
|   | Gründistanz [in m]                                  |                         |
| Längere Trockenperioden:<br>Wasserknappheit               | Reduktion des Regenabflusses [%]                    |                         |
|   | Änderung des Versickerungsanteils [%]               |                         |
|   | Reduktion Abwasserabfluss [%]                       |                         |
|   | Wasserbereitstellung                                | x                       |

Im Folgenden wird das Vorgehen für die Indikatorenbewertungen dargestellt, insofern diese vom oben skizzierten Vorgehen abweichen.

### 6.2.1 Koordinationsaufwand

Die Bewertung des Koordinationsaufwands (Stand des Wissens, Koordinationsaufwand Planung und Umsetzung, Koordinationsaufwand Betrieb) erfolgte auf Grundlage der Verfügbarkeit von Normen und Richtlinien (z. B. DIN-Normen, fachlicher Richtlinien, etc.), der Verfügbarkeit von Best-Practice-Beispielen und des rechtlichen Rahmens, die mittels Internetrecherche und Literatursuche identifiziert wurden. Die Definitionen sind in Tabelle 9 in Kap. 6.2 erläutert. Um die Experteneinschätzung methodisch zu validieren, erfolgte die Bewertung durch literaturgestützte Abschätzung nach dem Vier-Augen-Prinzip.

Die Bewertungsskalen sind wie folgt:

Koordinationsaufwand Planung und Umsetzung; Koordinationsaufwand Betrieb:  
,sehr gering' – ,eher gering' – ,mittel' – ,eher hoch' – ,sehr hoch', ,sehr unsicher'.

Stand des Wissens:  
,ungenügend' – ,mangelhaft' – ,ausreichend' – ,befriedigend' – ,gut' – ,sehr gut'

### 6.2.2 Verbesserung physisches Wohlbefinden

Das hier ermittelte Potenzial für die Verbesserung des physischen Wohlbefindens setzt sich aus den Bewertungen der Indikatoren ‚Reduktion der gesundheitlichen Belastung‘, ‚Verringerung von Hitzestress‘ und ‚Abwesenheit von Schadstoffen‘ zusammen und bezieht sich damit auf Kernelemente der Reduktion von Umweltbelastungen und Gesundheit, die durch Ökosystemleistungen bereitgestellt werden (Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016). Die Indikatoren des physischen Wohlbefindens sind in Tab. 1212 zusammengefasst definiert.

Die Bewertung der Verringerung von Hitzestress und der Abwesenheit von Schadstoffen sind über die Indikatoren ‚Änderung Tropennächte‘ und ‚Änderung Hitzestress‘, bzw. Bindung von Aerosolen, Grob- und Feinstaub als Bestandteil der Bewertung der Ökosystemleistungen erfasst (vgl. Tab. 9: Definitionen der bewerteten Indikatoren, Kap. 6.2). Wechselwirkungen entstehen durch die Interaktion von Reduktion von Hitzestress, Reduktion von Tropennächte und Änderung der Verdunstungs- und Versickerungsanteile. So ist die kühlende Wirkung von Grün abhängig vom im Boden verfügbaren Wasser (Cameron et al. 2012). Verdunstung bewirkt durch den Entzug von Wärmeenergie Verdunstungskühlung und reduziert damit Hitzebelastung (Burkart et al. 2016). Zugleich kann das thermische Wohlbefinden durch die durch Verdunstung verursachte Erhöhung der Luftfeuchte beeinträchtigt werden (Buchin et al. 2016). Das thermische Wohlbefinden ist zudem von Wind, Luftfeuchte und Strahlung abhängig und wird von den hier erhobenen Indikatoren nur teilweise erfasst (Brown et al. 2015). Diese Wechselwirkungen sind in der KURAS-Modellierung der Indikatoren ‚Änderung Tropennächte‘ und ‚Änderung Hitzestress‘ bereits berücksichtigt worden (vgl. Günther 2014). Für eine Verringerung der gesundheitlichen Belastung sind darüber hinaus Faktoren wie physische Verfassung, Alter, Exposition bedeutend, die hier nicht näher berücksichtigt werden können (Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016).

Der Bewertung der Reduktion der gesundheitlichen Belastung hingegen liegt die Potenzialabschätzung der Ökosystemleistungen einzelner Bausteine in Kombination mit einer weiteren Literaturoswertung zugrunde. D. h. am Beispiel des Indikators Lärmreduktion, es wurde a) die Wirkung von Lärmreduktion auf die Verringerung gesundheitlicher Belastungen anhand von einschlägiger Literatur verbal beschrieben (hier: Reduktion von Stress und Herz-Kreislauf-Erkrankungen), und b) für Bausteine, für die ‚Lärmreduktion‘ eine positive Potenzialabschätzung hatte, das Potenzial einer Verringerung der gesundheitlichen Belastung durch Lärmreduktion daher positiv eingeschätzt. Den Zusammenhang zwischen Ökosystemleistungsindikatoren und Effekten auf die Reduktion der gesundheitlichen Belastung zeigt Tabelle 13 (‚Verringerung der gesundheitlichen Belastung durch Ökosystemleistungen‘). Die Wirkungspotenziale einzelner Ökosystemleistungen auf die Verbesserung des physischen Wohlbefindens wurden je Baustein literaturgestützt textlich dargestellt und der zu erwartende Effekt auf einer Skala von -1 (negativer Effekt) bis 1 (positiver Effekt) eingeordnet. Eine Quantifizierung der Wirkung ist auf Grundlage der betrachteten Literatur nicht möglich, das eingeschätzte Potenzial gibt also nur Richtung, nicht Umfang der zu erwartenden Wirkung an. Die Medienabhängigkeit der Wirkungen

wurde ebenfalls auf Ebene der Indikatoren bewertet. Aus den Beschreibungen der Effekte wurden unterschiedliche Arten der Wirkung, nämlich (a) Stressreduktion und Reduktion damit verbundener Krankheiten; (b) Reduktion von Atemwegserkrankungen und (c) Reduziertes Auftreten von Allergien identifiziert und je Baustein zusammengefasst (siehe Ergebnisse in Kap. 5.3).

**Tab. 12: Indikatoren des physischen Wohlbefindens**

| Indikator                                   | Definition   | Bewertungsgrundlage  |
|---|--|--|
| Verringerung der gesundheitlichen Belastung | Reduzierung von Belastungen (Krankheiten, Allergienaufkommen, Schmerzempfinden, sowie Stress, Übergewicht usw.) gemessen in Morbidität, Mortalität) durch präventive und heilende Wirkungen              | Der Beitrag der Bausteine zur Verringerung der gesundheitlichen Belastung wurde anhand von Literatur zur Wirkung einzelner Ökosystemfunktionen auf Morbidität und Mortalität ermittelt.  |
| Verringerung von Hitze-stress               | Verbesserung des thermischen Wohlbefindens durch Kühlung/Senkung der gefühlten Temperatur.   | Der Beitrag der Bausteine zur Verringerung von Hitzestress und daraus resultierender Verringerung der gesundheitlichen Belastung ist über die Indikatoren der Ökosystemfunktionen 'Reduktion Tropennächte' und 'Reduktion Hitzestress' bereits erfasst und wird hier daher nicht gesondert betrachtet. |
| Abwesenheit von Schadstoffen                | Durch Abwesenheit von Schadstoffen in der Luft wird das Risiko einer gesundheitlichen Belastung durch Infektion mit Keimen, Erkrankung der Atemwege und Kontakt mit toxisch wirkenden Stoffen reduziert. | Der Beitrag der Bausteine zur Abwesenheit von Schadstoffen ist über den Indikator der Ökosystemfunktion 'Bindung von Fein- und Grobstaub, Aerosolen' und dessen Beitrag zur Verringerung der gesundheitlichen Belastung erfasst und wird hier daher nicht gesondert betrachtet.                        |

In der Wirkungsabschätzung der Bausteine (Kap. 5) werden nur direkte Wirkungen, d. h. solche, die unmittelbar auf oder in der direkten Umgebung des Bausteins ohne zeitliche und räumliche Verschiebung eintreten, betrachtet. In welcher Form darüber hinaus indirekte Wirkungen eintreten können, ist in Tabelle 13 dargestellt. Dabei bezieht sich die Abschätzung des Wirkungspotenzials auf den Außenraum (Straßenraum). Davon ausgenommen sind Bausteine, die den Innenraum direkt betreffen, wie z. B. Innenraumbegrünung.

Tab. 13: Verringerung der gesundheitlichen Belastung durch Ökosystemleistungen.

| Indikatoren für ÖSL <sup>6</sup>              | Art der potenziellen Wirkung auf die Reduktion gesundheitlicher Belastung  |
|---|--|
| Zahlungsbereitschaft/Wertsteigerung Immobilie | Die Zahlungsbereitschaft für die Erreichbarkeit von Grünräumen zur Steigerung der Lebensqualität ist größer, je weiter Grünflächen entfernt sind (ebd.). Daraus lässt sich schließen, dass eine Wertsteigerung einer Immobilie durch Begrünung/Anbindung an eine Grünfläche mit einem positiven individuellen Effekt auf das physische (und analog psychische) Wohlbefinden korrelieren kann. Als Indikator für die ästhetische Funktion einer Grünfläche kann Zahlungsbereitschaft auf ein Potenzial für physisches Wohlbefinden über den 'visuellen' Kontakt mit der Natur hindeuten (Nowak 2004).   |
| Ikonische Wirkung                             | Es ist anzunehmen, dass Bausteine mit ikonischer Wirkung einen 'Raum mit Aufforderungscharakter' (siehe Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016) für Bewegung bilden und dadurch eine positive Wirkung auf physisches Wohlbefinden haben können. Auch kann die Ortsbindung erhöht werden (vgl. Nowak, 2004). Dabei wird allerdings die städtebauliche Einbindung des Bausteins (unmittelbare Erreichbarkeit und darüber hinaus) entscheidend sein.   |
| [Grad der] Erlebbarkeit                       | Als 'Raum mit Aufforderungscharakter' (Heil, 2014 in TEEB, 2016) kann die ästhetisch positiv wahrgenommene Stadtnatur als Anreiz für Bewegung dienen und damit im Zusammenhang mit gesundheitlichen Effekten stehen. Eine strukturelle Diversität der Vegetation kann zur Stressreduktion und damit verbundenen gesundheitlichen Effekten (Herz-Kreislauf -Erkrankungen, Erkrankungen des Verdauungssystems und psychische Erkrankungen) beitragen; dafür ist die visuelle Erlebbarkeit ausreichend (TEEB, 2016). Die Wahrnehmung von Pflanzen kann eine positive Wirkung auf physisches Wohlbefinden in Form von Schmerz- und Stressreduktion haben (Grinde & Patil, 2009). Die Wahrnehmung und Verteilung von Grün und weitere Aspekte der Nachbarschaft stehen im Zusammenhang mit Zufriedenheit mit Nachbarschaft, mit Bewegung und folglich Gesundheit (de Jong et al., 2012). Van Dillen et al. (2012) haben aufgezeigt, dass physisches Wohlbefinden sowohl mit der Quantität als auch mit der Qualität von Grünflächen zusammenhängt. Zur 'Qualität' zählen dabei neben ästhetischer Wahrnehmung (Gestaltung, Sauberkeit) die Zugänglichkeit (Sicherheit). |
| Zugänglichkeit                                | Die direkte Erreichbarkeit und Zugänglichkeit, Vermeidung von Angsträumen und Mobilitätsbarrieren ist Bedingung für gesundheitlichen Nutzen von Grünflächen, messbar z. B. über erniedrigte Blutdruck- und Stresshormonspiegel bei Spaziergängern/durch sonstige physische Aktivität in naturnaher Umgebung. Zugänglichkeit und damit der gesundheitliche Nutzen eines Bausteins ist von Sicherheitsbedürfnissen und Mobilität abhängig und entsprechend für Bevölkerungsgruppen unterschiedlich (TEEB, 2016; Cameron et al, 2012; Thompson & Aspinall, 2011; Hartig et al., 2014; und Nowak, 2004).*  |
| Aneigenbarkeit                                | Die Aneigenbarkeit bietet Möglichkeiten zur Aufnahme und Pflege von sozialen Kontakten, die physisches Wohlbefinden durch Stressreduktion begünstigen. Die Aneignung der Natur über Spiel und Sport ist aktivitäts- und bewegungsfördernd (TEEB, 2016; Cameron et al, 2012). Welche gesundheitliche Wirkung Privatgärten haben, in denen wenig sozialer Austausch/Begegnung stattfindet, ist unzureichend untersucht (Cameron et al, 2012). Auch ist die Aneignung und Nutzung von Grün- und Wasserflächen stark kulturell geprägt, d. h. der gesundheitliche Nutzen von Aneigenbarkeit ist je nach Bevölkerungsgruppe (ethnische Zugehörigkeit, Alter, Geschlecht) und individueller Prägung (z. B. Naturerfahrung in der Kindheit) unterschiedlich groß (Cameron et al., 2012; Thompson & Aspinall, 2011; Nowak, 2004).**  |
| Umweltpädagogische Nutzung                    | Naturerfahrung kann Naturentfremdung verhindern und Persönlichkeitsentwicklung, motorische Entwicklung und Konzentrationsfähigkeit fördern ('biopsychosoziale Perspektive'); Umweltbildung in Kombination mit Gesundheitsbildung verstärkt gesundheitliche Wirkung (TEEB, 2016, Nowak, 2004; Thompson & Aspinall, 2011).   |

<sup>6</sup> Zur Definition der Indikatoren der Ökosystemleistungen siehe Tabelle 9

| Indikatoren für ÖSL <sup>6</sup>                       | Art der potenziellen Wirkung auf die Reduktion gesundheitlicher Belastung  |
|--|--|
| Aerosole, Grobstaub-/Feinstaubbindung                  | Die Bindung von Aerosolen, Grob- und Feinstaub kann Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen entgegenwirken (TEEB, 2016, auch Hartig et al. 2014) und sich positiv auf das subjektive psychische und physische Wohlbefinden (Honold et al., 2012) auswirken.   |
| Lärmreduktion  | Die Reduktion von Lärm kann zur Vermeidung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen beitragen (TEEB, 2016) und verringert das subjektive Stressempfinden (Honold et al., 2012) haben  |
| Änderung Tropennächte 1 [d/a]                          | Der Indikator 'Änderung Tropennächte' umfasst alle Einflussgrößen auf die Temperatur in 2 Meter über Boden (also Verdunstung, Beschattung, Albedo, Luftaustausch/Rauigkeit, Wärmespeicherung, Strahlung ...). Hitzeereignisse (am Tag und in der Nacht) können mit statistisch hoher Signifikanz mit einem erhöhten Mortalitätsrisiko in Verbindung gebracht werden. Die Auswirkungen von Hitzebelastung und -stress auf Morbidität sind schwieriger zu belegen und werden insbesondere an vermehrtem Auftreten von Dehydrierung, Schwindel und Ohnmacht festgemacht (Fenner et al., 2015, Mc Geehin & Mirabelli, 2001). Risiken durch hohe Temperatur und folglich Wirkungspotenzial der Minimierung von Hitzestress durch Temperaturabsenkung auf Morbidität und Mortalität ist abhängig von Altersgruppe (v.a. ältere Menschen, Menschen mit Vorerkrankungen ... betroffen), Arbeitsbedingungen (körperliche Arbeiten im Außenraum, schlechte Belüftung ...), Geschlecht (Frauen stärker betroffen) (TEEB, 2016). |
| Änderung Hitzestress (UTCI) 1 [h/a]                    | Wirkung wie Änderung Tropennächte  |
| Änderung des Verdunstungsanteils [%]                   | Wirkung von Verdunstung und Luftfeuchte auf das thermische Wohlbefinden/ physische Belastung (vgl. Burkart et al., 2016; Buchin et al., 2016) ist in den Indikatoren 'Änderung Tropennächte' und 'Änderung Hitzestress' erfasst, daher hier keine Wirkung zu erwarten  |
| Reduktion des Regenabflusses [%]                       | Wirkung nur indirekt über die Reduktion der Belastung von Gewässern, siehe AFS Rückhalt; vgl. Kümmerer & Olsson, 2018; wird hier nicht bewertet da weitgehend von Baustein entkoppelt  |
| Änderung des Versickerungsanteils [%]                  | Cameron et al., 2012: Kühlende Wirkung von Grün ist abhängig von im Boden verfügbarem Wasser. Eine negative Wirkung von verbesserter Versickerung durch Eintrag von bioziden Wirkstoffen in das Grundwasser ist nicht auszuschließen (vgl. Lange et al., 2018). Beide Wirkungen sind indirekt und werden daher hier nicht betrachtet.  |
| AFS-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]         | Abfiltrierbare Stoffe stellen eine Leitgröße für organisches Material, Schwermetalle und pathogene Keime da (siehe Definition des Indikators in Tabelle 9). Durch den Rückhalt im Baustein gelangen diese Stoffe nicht in Gewässer und Kanalisation, daher reduzierte Belastung mit toxischen Stoffen. Diese werden relevant für die gesundheitliche Belastung wenn Gewässer als Badegewässer genutzt werden oder bei Wasserwiederverwendung. Ob und welche gesundheitlichen Belastungen durch AFS-Rückhalt reduziert werden können, ist abhängig von Standort (stoffliche Belastung), Reinigungsverfahren und (ggf.) Art der Wiederverwendung. Die Wirkung ist räumlich und zeitlich weitgehend vom Baustein entkoppelt und für viele Stoffe unbekannt da unzureichend beforscht (vgl. Kümmerer & Olsson, 2018; Tang et al., 2013; Toze, 2006). Darum indirekte Wirkung und hier nicht bewertet.  |
| Phosphor-Rückhalt im Regenwasserabfluss [kg/(ha·a)]    | Keine direkte Wirkung zu erwarten  |
| Reduktion der Abflussspitze [%]                        | Reduktion der Abflussspitze reduziert das Risiko von Überflutungen und dem Übertreten/Rückstau in der Kanalisation, die mit gesundheitlichen Risiken verbunden sind. Vgl. BBSR, 2015; KURAS. Wirkung indirekt, daher hier nicht betrachtet.  |
| Änderung der Zinkkonzentration bei Versickerung [%]    | Wirkung wie AFS-Rückhalt für Schwermetalle, siehe Definition des Indikators/ KURAS. Wirkung indirekt, daher hier nicht betrachtet.   |
| Änderung der Chloridkonzentration bei Versickerung [%] | Wirkung wie AFS-Rückhalt für Schwermetalle, siehe Definition des Indikators/ KURAS. Wirkung indirekt, daher hier nicht betrachtet.   |
| Bindung von Kohlendioxid [kg/(ha·a)]                   | Keine direkte Wirkung zu erwarten  |

| Indikatoren für ÖSL <sup>6</sup>        | Art der potenziellen Wirkung auf die Reduktion gesundheitlicher Belastung  |
|---|--|
| α-Diversität (Flora) [-]                | TEEB, 2016; Honold, 2018: hohe Biodiversität reduziert Allergieaufkommen in unmittelbarer Umgebung von Grünflächen (Anzahl Allergiker)   |
| α-Diversität (Fauna) [-]                | Keine direkte Wirkung zu erwarten  |
| β-Diversität (Flora) [-]                | TEEB, 2016; Honold, 2018: hohe Biodiversität reduziert Allergieaufkommen in unmittelbarer Umgebung von Grünflächen (Anzahl Allergiker)   |
| Seltene Arten                           | Keine direkte Wirkung zu erwarten  |
| Habitatsvielfalt                        | Keine direkte Wirkung zu erwarten  |
| Gründistanz [in m]                      | TEEB, 2016: Gleichwertigkeit in Verteilung der Grünräume und Vernetzung ist aktivitäts- und bewegungsfördernd; Maas et al: gesundheitliche Wirkung von Grünflächen tritt bis in 1 km Distanz ein   |
| Ernte Pflanz- bzw. Erntegut [kg/(ha·a)] | Die Bereitstellung von Nahrungsmitteln kann zu gesunder Ernährung beitragen (Millenium Ecosystem Assessment, 2003; Bürgow, 2014)***  |
| Reduktion des Abwasserabflusses [%]     | Keine direkte Wirkung zu erwarten  |
| Wasserbereitstellung                    | Cameron et al., 2012: Kühlende Wirkung von Grün ist abhängig von im Boden verfügbarem Wasser; Sicherstellung von Trinkwasserversorgung durch Substitution; Bereitstellung durch natürliche/technische Reinigung reduziert gesundheitliche Belastung bei Wiederverwendung. Als indirekte Wirkungen hier nicht bewertet. |
| Sauerstoffproduktion [kg/(ha·a)]        | Keine direkte Wirkung zu erwarten  |

\* Wirkung medienabhängig, da Sicherheitsbedürfnis und Nutzungsmöglichkeiten bei Wasserwiederverwendung eingeschränkt, bzw. Nutzung temporär/lokal eingeschränkt ist

\*\* Wirkung medienabhängig, da Sicherheitsbedürfnis und Nutzungsmöglichkeiten bei Wasserwiederverwendung eingeschränkt, bzw. Nutzung temporär/lokal eingeschränkt ist

\*\*\* Wirkung medienabhängig, da Konsum/Kontakt mit Erntegut bei Verwendung von Brauchwasser aus Grauwasser ggf. mit gesundheitlichen Risiken verbunden

### 6.3 Auswahl von Zielen und Zuordnung von Indikatoren

Für Anwender (aus Planung und Verwaltung) der hier entwickelten Bewertung von Bausteinen zur Kopplung von Infrastruktur haben Ökosystemleistungen) eine unmittelbare Bedeutung im Planungsprozess (vgl. Kap.6.1). Um die Bewertungen des potenziellen Nutzens der Bausteine in der Anpassung an den Klimawandel für Planer handhabbar zu machen, wurden in einem partizipativen Prozess mit den im Projekt beteiligten Praxispartnern planerische Ziele identifiziert, zu deren Erreichung die hier betrachteten Ökosystemleistungen eine Rolle spielen. Mit der Definition dieser Ziele (siehe Kap. 3.2) wurde auch die Zuordnung der bewerteten Indikatoren zu den planerischen Zielen begründet (Tabelle 4).

### 6.4 Medienabhängigkeit

Nicht alle der vorgestellten Medien (Ressourcen) kommen beim spezifischen Einsatz eines Bausteins zur Erreichung der gewünschten planerischen Ziele in Frage. Das heißt, an diesem Punkt ist ihr Wirkungspotenzial das Ziel zu erreichen/zu unterstützen, abhängig vom eingesetzten Wassermedium (und ggf. auch von der Wassermenge) reduziert. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird hier von Medienabhängigkeit gesprochen.

Diese hat im Wesentlichen sechs Gründe:

1. In manchen Bausteinen kommt grundsätzlich nur ein Medium zur Anwendung, weshalb hier durchgehend von einer Abhängigkeit gesprochen wird. Dies gilt für die Bausteine Entsiegelung/Vermeidung von Versiegelung und Technische Reinigung von Niederschlagswasser. Hier ist das betrachtete Medium Niederschlagswasser.
2. Einige der Indikatoren beziehen sich explizit auf nur einen Medientyp. Daher ist auch für diese Indikatoren unabhängig vom jeweiligen Baustein eine Abhängigkeit gegeben. Das trifft auf die Indikatoren Reduktion des Regenabflusses, AFS-Rückhalt im Regenabfluss und Phosphorrückhalt im Regenabfluss zu. Auch hier ist das betrachtete Medium Niederschlagswasser.
3. Die Biodiversität von grünen und blauen Bausteinen kann durch die unterschiedlichen Inhaltsstoffe, bzw. deren Konzentrationen beeinflusst werden. So führen höhere Nährstoffkonzentrationen zu einer verstärkten Düngung, was in der Regel mit einer geringeren Artenzahl, auf jeden Fall aber mit anderen Arten einhergeht.
4. Mit Blick auf die Wirkung des physischen Wohlbefindens ist eine Medienabhängigkeit dort gegeben, wo eine Reduktion der gesundheitlichen Belastung mit dem direkten Kontakt zum Baustein verbunden ist. Das betrifft die Indikatoren Zugänglichkeit und Aneigenbarkeit. Die gesundheitliche Wirkung entsteht hier durch Nutzung und Nutzungsmöglichkeiten bei Wasserwiederverwendung sind ggf. temporär/lokal eingeschränkt. Für den Indikator Ernte-/Pflanzgut liegt ebenfalls eine Medienabhängigkeit in Bezug auf das physische Wohlbefinden vor, da der Konsum/Kontakt mit Erntegut je nach verwendetem Medium anders ausfällt bis unterbunden werden muss.
5. Der Indikator Umweltpädagogische Nutzung wurde allgemein bewertet und nicht spezifisch mit dem Blick auf die Wasserressource/n. Dieser ist daher grundsätzlich als medienunabhängig einzuordnen.
6. Auch kann es sein, dass bspw. nur Niederschlagswasser für die Anwendung eines Bausteins bewertet werden konnte und das Potenzial demnach diesem Medium auch zu zuordnen ist.

Bis auf die beschriebenen Aspekte in Punkt 1 und wenige Ausnahmen zeigt sich, dass die Medienabhängigkeit bezüglich der Indikatoren bewertet wird. Es ist also schwierig eine allgemeine Aussage über einen ganzen Baustein zu treffen.

## 7 Literaturverzeichnis

- Becker, Paul/Andreas Bender/Clementine Dalelane/Thomas Deutschländer/Thomas Jung-hänel/Andreas Walter (2016): Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland. Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung
- Bergmann, Matthias/Thomas. Jahn/Tobias Knoblauch/Wolfgang Krohn/Christian Pohl/Engelbert Schramm (2010): Methoden transdisziplinärer Forschung. Ein Überblick mit Anwendungsbeispielen. Frankfurt am Main/New York
- BGMR Landschaftsarchitekten (2013): Internationale Ansätze und Referenzprojekte zu Klimaanpassungsstrategien der Überflutungs- und Trockenheitsvorsorge 2013. Berlin
- Böhm, Jutta/Christa Böhme/Arno Bunzel/Christina Kühnau/Detlef Landua/Markus Reinke (2016): Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. BfN-Skripten
- Brasseur, Guy/Daniela Jacob/Susanne Schuck-Zöller (Hg.) (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Hamburg
- Brown, Robert/Jennifer Vanos/Natasha Kenny/Sanda Lenzholzer (2015): Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change. *Landscape and Urban Planning* (138), 118–131
- Buchin, Oliver/Marie-Therese Hoelscher/Fred Meier/Thomas Nehls/Felix Ziegler (2016): Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. *Energy and Buildings* 114, 27–37
- Burkart, Katrin/Fred Meier/Alexandra Schneider/Susanne Breitner/Paulo Canário/Maria João Alcoforado/Dieter Scherer/Wilfried Endlicher (2016): Modification of Heat-Related Mortality in an Elderly Urban Population by Vegetation (Urban Green) and Proximity to Water (Urban Blue). Evidence from Lisbon, Portugal. *Environmental health perspectives* 124 (7), 927–934
- Cameron, Ross W.F./Tijana Blanuša/Jane E. Taylor/Andrew Salisbury/Andrew J. Halstead/Béatrice Henricot/Ken Thompson (2012): The domestic garden – Its contribution to urban green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening* 11 (2), 129–137
- CBD – Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2010): Global biodiversity outlook 3. Montreal
- Coutts, Andrew M./Nigel J. Tapper/Jason Beringer/Margaret Loughnan/Matthias Demuzere (2012): Watering our cities. *Progress in Physical Geography* 37 (1), 2–28
- Deutscher Wetterdienst (2017): Zahlen und Fakten zum Klimawandel in Deutschland. Berlin
- Dreiseitl, Herbert/Dieter Grau (2006): Wasserlandschaften. Planen, Bauen und Gestalten mit Wasser. Basel
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V./BWK – Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (2016): Grundsätze zur Be-

wirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer (DWA A 102 / BWK A-3). Hennef

Feinberg/Daniel S./Mark E. Hostetler/Sarah E. Reed/Elizabeth F. Pienaar/Liba Pejchar (2015): Evaluating management strategies to enhance biodiversity in conservation developments: perspectives from developers in Colorado, USA. *Landscape and Urban Planning* 136, 87–96

Frerichs, Stefan/Christoph Küpper/Bernd Noky/André Simon/Luise Adrian/Arno Bunzel/Ricarda Pätzold/Magdalene Raket (2017): Umwelt- und Aufenthaltsqualität in kompakt-urbanen und Nutzungsgemischten Stadtstrukturen. Analysen, Fallbeispiele, Handlungsansätze unter Nutzung und Weiterentwicklung des Bauplanungs- und Umweltrechts. Dessau-Roßlau

Grinde, Bjørn/Grete Grindal Patil (2009): Biophilia. Does visual contact with nature impact on health and well-being? *International journal of environmental research and public health* 6 (9), 2332–2343

Grunewald, Karsten/Olaf Bastian (Hg.) (2013): Ökosystemdienstleistungen. Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Berlin/Heidelberg

Günther, Robert (2014): The role of soil water content for microclimatic effects of green roofs and urban trees – a case study from Berlin, Germany. *Journal of Heat Island Institute International* 9 (2)

Hartig, Terry/Richard Mitchell/Sjerp de Vries/Howard Frumkin (2014): Nature and health. *Annual review of public health* 35, 207–228

Honold, Jasmin/Reinhard Beyer/Tobia Lakes/Elke van der Meer (2012): Multiple environmental burdens and neighborhood-related health of city residents. *Journal of Environmental Psychology* 32 (4), 305–317

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2016): Klimaänderung 2013/2014. Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Bonn/Wien/Bern

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2013): Summary for Policymakers. In: Stocker, Thomas F./Qin, Dahe/Plattner, Gian-Kasper/Tignor, Melinda M.B./Allen, Simon K./Boschung, Judith/Nauels, Alexander/Xia, Yu/Bex, Vincent/Midgley, Pauline M. (Hg.): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York, NY, USA, 3–29

Jong, Kim de/Maria Albin/Erik Skärbäck/Patrik Grahn/Jonas Björk (2012): Perceived green qualities were associated with neighborhood satisfaction, physical activity, and general health. Results from a cross-sectional study in suburban and rural Scania, southern Sweden. *Health & place* 18 (6), 1374–1380

- LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2013): Klimawandelgerechte Metropole Köln. Abschlussbericht. LANUV-Fachberichte
- Loft, Lasse/Alexandra Lux (2010): Ecosystem Services - Eine Einführung. BiK-F Knowledge Flow Paper. Frankfurt am Main
- Luttik, Joke (2000): The value of trees, water and open space as reflected by house prices in the Netherlands. *Landscape and Urban Planning* 48 (3-4), 161–167
- Mak, Chunglim (2015): Linking sustainable drainage systems (SuDS) together with ecosystem services and disservices: New connections in urban ecology. Diss. University of Salford
- Matzinger, A./M. Riechel/C. Remy/H. Schwarzmüller/P. Rouault/M. Schmidt/M. Offermann/C. Strehl/D. Nickel/H. Sieker/M. Pallasch/M. Köhler/D. Kaiser/C. Möller/B. Büter/D. Leßmann/R. von Tils/I. Säumel/L. Pille/A. Winkler/H. Bartel/S. Heise/B. Heinzmann/K. Joswig/B. Reichmann/M. Rehfeld-Klein (2016): Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes Kuras. Berlin
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and human well-being. Synthesis. Washington, DC
- Naturkapital Deutschland - TEEB DE (2016): Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Berlin, Leipzig
- Nenz, Diana/Jan Trapp/Jeremy Anterola/Brigitte Reichmann/Michel Gunke/Andreas Matzinger/Pascale Rouault (im Erscheinen): Machbarkeitsstudien gekoppelter grün, blau, grauer Infrastrukturen – mögliche Varianten zum veränderten Umgang mit Wasser in typischen Gebietskulissen (Beispiel Berlin). netWORKS-Paper. Berlin
- Nowak, Ines (2004): Parks und Natur in der Stadt. Konzepte und Wirkungen
- Scherer, Dieter/Ute Fehrenbach/Tobia Lakes/Steffen Lauf/Fred Meier/Christian Schuster (2013): Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany 144 (3-4), 260–273
- Schönwiese, Christian-Dietrich./Tim Staeger/Silke Trömel (2006): Klimawandel und Extremereignisse in Deutschland. In: Deutscher Wetterdienst (Hg.): Klimawandel in Deutschland - Hurrikane im Nordatlantik - Aktuelle Ergebnisse des Klimamonitorings. Klimastatusbericht, Band 2005. Offenbach am Main, 7–17
- Schramm, Engelbert/Fanny Frick-Trzebitzky/Andreas Matzinger/Diana Nenz/Immanuel Stieß/Martina Winker (in Bearbeitung): Integrated urban grey and blue-green infrastructure design supports adapting to climate change. *Journal of Environmental Planning and Management*
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016): Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET - Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt. Berlin

Sun, Ranhao/Liding Chen (2012): How can urban water bodies be designed for climate adaptation? *Landscape and Urban Planning* 105 (1-2), 27–33

TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010): *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar. London, Washington

UBA – Umweltbundesamt (2015a): *Monitoringbericht 2015 Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung*. Dessau-Roßlau

UBA – Umweltbundesamt (Hg.) (2015b): *Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24*. Dessau-Roßlau

van Dillen, Sonja M. E./Sjerp de Vries/Peter P. Groenewegen/Peter Spreeuwenberg (2012): Greenspace in urban neighbourhoods and residents' health. Adding quality to quantity. *Journal of epidemiology and community health* 66 (6), e8

Ward Thompson, Catharine/Peter A. Aspinall (2011): Natural Environments and their Impact on Activity, Health, and Quality of Life. *Applied Psychology: Health and Well-Being* 3 (3), 230–260